

# **Multimodales kollaboratives Zeichensystem für blinde Benutzer**

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt im März 2020 an der  
Technischen Universität Dresden  
Fakultät Informatik

eingereicht von

**Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein**

geboren am 1. Juni 1983 in Leonberg

**Gutachter:**

---

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Weber**

Technische Universität Dresden

**Prof. Dr. Timo Götzelmann**

Technische Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm

**Tag der Verteidigung:** 23. Juni 2020





## **Abstract**

Pictures and graphical data are common communication media for conveying information and knowledge. However, these media might exclude large user groups, for instance visually impaired people, if they are offered in visual form only. Textual descriptions as well as tactile graphics may offer access to graphical information but have to be adapted to the special needs of visually impaired and blind readers. The translation from visual into tactile graphics is usually implemented by sighted graphic authors, some of whom have little experience in creating proper tactile graphics. Applying only recommendations and best practices for preparing tactile graphics does not seem sufficient to provide intelligible, high-quality tactile materials. Including a visually impaired person in the process of creating a tactile graphic should prevent such quality and intelligibility issues.

Large dynamic tactile displays offer non-visual access to graphics; even dynamic changes can be conveyed. As part of this thesis, a collaborative drawing workstation was developed. This workstation utilizes a tactile display as well as auditory output to actively involve a blind person as a lector in the drawing process. The evaluation demonstrates that inexperienced sighted graphic authors, in particular, can benefit from the knowledge of a blind person who is accustomed to handling tactile media. Furthermore, inexperienced visually impaired people may be trained in reading tactile graphics with the help of the collaborative drawing workstation.

In addition to exploring and manipulating existing graphics, the accessible drawing workstation offers four different modalities to create tactile shapes: text-based shape-palette-menus, gestural drawing, free-hand drawings using a wireless stylus and scanning object silhouettes by a ToF-camera. The evaluation confirms that even untrained blind users can create drawings in good quality by using the accessible drawing workstation. However, users seem to prefer robust, reliable modalities for drawing, such as text menus, over modalities which require a certain level of skill or additional technical effort.



## Kurzfassung

Bilder und grafische Darstellungen gehören heutzutage zu den gängigen Kommunikationsmitteln und Möglichkeiten des Informationsaustauschs sowie der Wissensvermittlung. Das bildliche Medium kann allerdings, wenn es rein visuell präsentiert wird, ganze Nutzergruppen ausschließen. Blinde Menschen benötigen beispielsweise Alternativtexte oder taktile Darstellungen, um Zugang zu grafischen Informationen erhalten zu können. Diese müssen jedoch an die speziellen Bedürfnisse von blinden und hochgradig sehbehinderten Menschen angepasst sein. Eine Übertragung von visuellen Grafiken in eine taktile Darstellung erfolgt meist durch sehende Grafikautoren und -autorinnen, die teilweise nur wenig Erfahrung auf dem Gebiet der taktilen Grafiktranskription haben. Die alleinige Anwendung von Kriterienkatalogen und Richtlinien über die Umsetzung guter taktiler Grafiken scheint dabei nicht ausreichend zu sein, um qualitativ hochwertige und gut verständliche grafisch-taktile Materialien bereitzustellen. Die direkte Einbeziehung einer sehbehinderten Person in den Transkriptionsprozess soll diese Problematik angehen, um Verständnis- und Qualitätsproblemen vorzubeugen.

Großflächige dynamisch taktile Displays können einen nicht-visuellen Zugang zu Grafiken ermöglichen. Es lassen sich so auch dynamische Veränderungen an Grafiken vermitteln. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein kollaborativer Zeichenarbeitsplatz für taktile Grafiken entwickelt, welcher es unter Einsatz eines taktilen Flächendisplays und auditiver Ausgaben ermöglicht, eine blinde Person aktiv als Lektorin bzw. Lektor in den Entstehungsprozess einer Grafik einzubinden. Eine durchgeführte Evaluation zeigt, dass insbesondere unerfahrene sehende Personen von den Erfahrungen sehbehinderter Menschen im Umgang mit taktilen Medien profitieren können. Im Gegenzug lassen sich mit dem kollaborativen Arbeitsplatz ebenso unerfahrene sehbehinderte Personen im Umgang mit taktilen Darstellungen schulen.

Neben Möglichkeiten zum Betrachten und kollaborativen Bearbeiten werden durch den zugänglichen Zeichenarbeitsplatz auch vier verschiedene Modalitäten zur Erzeugung von Formen angeboten: Formenpaletten als Text-Menüs, Gesteneingaben, Freihandzeichnen mittels drahtlosem Digitalisierungsstift und das kamerabasierte Scannen von Objektkonturen. In einer Evaluation konnte gezeigt werden, dass es mit diesen Methoden auch unerfahrenen blinden Menschen möglich ist, selbständig Zeichnungen in guter Qualität zu erstellen. Dabei präferieren sie jedoch robuste und verlässliche Eingabemethoden, wie Text-Menüs, gegenüber Modalitäten, die ein gewisses Maß an Können und Übung voraussetzen oder einen zusätzlichen technisch aufwendigen Aufbau benötigen.



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich bei meiner Promotion unterstützt haben. Dazu zählen natürlich all meine Kolleginnen und Kollegen, ohne deren Rückhalt und offenes Ohr für Fachfragen diese Arbeit immer noch nicht fertig wäre – gerade von *Dr. Michael Schmidt* habe ich einen Großteil meines Handwerkszeugs zur Realisierung dieser Arbeit mitbekommen. Auch allen blinden und sehbehinderten Probandinnen und Probanden, die sich die Zeit genommen haben, meine Entwürfe kritisch und geduldig auszuprobieren und zu bewerten, sei hier gedankt. Es ist klar, dass das im Rahmen dieser Arbeit entstandene Zeichensystem ohne die Einbeziehung der mir zu Beginn so fremden Zielgruppe, nicht diese Qualität und Akzeptanz erreicht hätte. Besonders möchte ich mich bei *Ursula Weber*, *Anja Winkler*, *Erik Scheibler*, *Frank Schirlitz* und *Sebastian Humenda* für die offenen, entspannten und fachlich anregenden Gespräche bedanken.

Mein aufrichtiger Dank gilt auch den fachlichen Betreuern dieser Arbeit – in erster Linie meinem Doktorvater *Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Weber*, der mich freundschaftlich väterlich unterstützt, korrigiert und angeregt hat, mir aber in erster Linie viel Freiheit und Rückhalt zum Experimentieren gegeben hat. Meinem Zweitgutachter *Prof. Dr. Timo Götzelmann* gilt ebenfalls meine Dankbarkeit, sowie meinem Fachreferenten *Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachselt*, welcher mir gezeigt hat, wie Enthusiasmus und positives Denken die Menschen um einen herum inspirieren können. Natürlich seien an dieser Stelle auch die restlichen Mitglieder der Prüfungskommission für ihr Wohlwollen bedacht.

Jedoch habe ich keiner Person den Erfolg dieser Arbeit so zu verdanken wie meiner geliebten Frau, *Dr. Denise Bornschein*. Ohne ihre essentiellen Arbeiten zu Evaluation, Benutzerfreundlichkeit sowie Interaktions- und Präsentationstechniken für blinde Menschen würde dieser Arbeit das starke Fundament fehlen und zudem deutlich mehr Schreibfehler aufweisen. Ich stelle mich hier auf die Schulter einer Riesin, die mich nicht nur fachlich, sondern auch privat stützt, trägt und beflügelt. Danke!

Ohne den Rückhalt und den bedingungslosen Glauben an mich von meiner ganzen Familie und all meinen Freunden wäre ich niemals über die Hürden gekommen, die mir durch so viele Dritte auf meinem Werdegang zur Dissertation gestellt wurden. Ich kann mich glücklich schätzen, euch alle hinter mir zu wissen.

Für die Finanzierung eines Großteils der hier zusammengetragenen Arbeiten gilt natürlich mein Dank auch dem *Bundesamt für Arbeit und Soziales*, das aus Mitteln des Ausgleichsfonds die Projekte *Tangram* und *Mosaik* unterstützt hat.

All denen, die hier nicht namentlich erwähnt sind, sei versichert, dass ich mir um ihre Rollen für den Erfolg dieser Arbeit sehr wohl bewusst bin – egal wie klein ihr Beitrag auch gewesen sein mag. Eine solch große Arbeit kann kein reines Alleinwerk sein und ist immer durch Zuarbeit, Unterstützung, Inspiration und Ideenteilung geprägt.

Im Gedenken an *Gerhard Bornschein*, der den erfolgreichen Abschluss nicht mehr erleben durfte, aber immer an mich geglaubt hat

–

und für eine bessere Zukunft für unseren Sohn Henry!

Jens Bornschein  
Dresden, März 2020



## **Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „**Multimodales kollaboratives Zeichensystem für blinde Benutzer**“ selbständig, unter Angabe aller Zitate und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, März 2020



Download

#### Anmerkung für Lesende mit einer Sehbehinderung

Dieses Schriftdokument unterliegt in der Zugänglichkeit den Beschränkungen des PDF-Formates. Es wurde versucht, ein Höchstmaß an Zugänglichkeit für assistive Technologien zu schaffen. Nichtsdestotrotz bleiben Tabellen nur unzureichend navigierbar und der Umfang von möglichen Alternativtexten für Grafiken ist eingeschränkt. Aus diesen Gründen wird ein zusätzliches Dokument mit navigierbaren Tabellen und vollständigen Alternativbeschreibungen für Grafiken im .docx-Format angeboten. Dieses kann als weiteres Dokument vom Dokumentenarchiv unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-715163> bezogen werden.



*Niemand darf wegen seiner Behinderung  
benachteiligt werden.*

Artikel 3 Abs. 3 Satz 2 des Grundgesetzes (GG)



# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	2
1.2	Problemstellung . . . . .	7
1.3	Zielstellung . . . . .	9
1.4	Gliederung der Arbeit . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Die Arbeitsweise blinder Menschen</b>	<b>15</b>
2.1	Blinde Menschen . . . . .	15
2.2	Erkunden von taktilen Grafiken . . . . .	16
2.2.1	Taktile Wahrnehmung von Grafiken . . . . .	16
2.2.2	Erkundungsstrategien . . . . .	19
2.3	Interaktionsformen . . . . .	20
2.3.1	Computerbedienung blinder Menschen . . . . .	20
2.3.2	Bedienung von Touchscreens . . . . .	23
2.3.3	Gesteneingabe blinder Menschen . . . . .	25
2.4	Screenreader und Off-Screen-Model . . . . .	27
2.5	Rechnergestützte Kollaboration zwischen sehenden und blinden Menschen . . . . .	31
2.5.1	Kollaboration und kollaborative Systeme . . . . .	31
2.5.2	Empfehlungen für kollaborative Systeme für sehende und blinde Menschen . . . . .	34
2.6	Fazit und Bedeutung für die Arbeit . . . . .	35
<b>3</b>	<b>Zugängliche Bilder und Medien</b>	<b>37</b>
3.1	Brailleschrift in Bildern . . . . .	37
3.2	Taktile Medien . . . . .	41
3.2.1	Statisch-taktile Medien . . . . .	42
3.2.2	Dynamische Medien . . . . .	46
3.3	Methoden und Werkzeuge zur Erstellung zugänglicher Grafiken . . . . .	60
3.3.1	Manuelle Methoden . . . . .	60
3.3.2	Digitale Editoren für zugängliche Grafiken . . . . .	67
3.3.3	Besonderheiten beim Zeichnen durch blinde Menschen . . . . .	70
3.4	Probleme in taktilen Grafiken . . . . .	77
3.5	Fazit und sich daraus ergebende Anforderungen . . . . .	78

<b>4</b>	<b>Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen</b>	<b>81</b>
4.1	Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten . . . . .	81
4.2	Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten . . . . .	88
4.3	Anforderungsanalyse für ein Zeichenprogramm für blinde Benutzer . . . . .	107
4.3.1	Anforderungen an ein digitales Zeichensystem für blinde Benutzer . . . . .	108
4.3.2	Gegenüberstellung von aktuellen Systemen und Anforderungen . . . . .	113
4.3.3	Bewertung der Kriterien . . . . .	115
4.3.4	Fazit . . . . .	118
<b>5</b>	<b>Qualitätsmanagement für taktile Grafiken</b>	<b>119</b>
5.1	Literaturumsetzung und Erstellung taktiler Grafiken . . . . .	119
5.2	Qualitätsmerkmale und Richtlinien für taktile Grafiken . . . . .	122
5.3	Prüfwerkzeug zur Bewertung taktiler Grafiken . . . . .	125
5.3.1	Online Prüfdialog . . . . .	125
5.3.2	Evaluation . . . . .	127
5.4	Fazit und Diskussion . . . . .	131
<b>6</b>	<b>Kollaborative Erstellung taktiler Grafiken</b>	<b>133</b>
6.1	Der Tangram Zeichenarbeitsplatz . . . . .	134
6.1.1	Unterstützung sehender Grafikautoren . . . . .	135
6.1.2	Nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle . . . . .	136
6.1.3	Unterstützung der Kollaboration zwischen sehenden und sehbehinder- ten Benutzern . . . . .	144
6.2	Technische Umsetzung . . . . .	147
6.2.1	Hardwareabstraktionsframework – BrailleIO . . . . .	147
6.2.2	Tangram als Screenreader . . . . .	159
6.3	Evaluation zur kollaborativen Erstellung von taktilen Grafiken . . . . .	165
6.3.1	Testaufbau . . . . .	165
6.3.2	Teilnehmende . . . . .	166
6.3.3	Testablauf und Materialien . . . . .	168
6.3.4	Ergebnisse . . . . .	169
6.4	Fazit und Diskussion . . . . .	178
<b>7</b>	<b>Multimodales Zeichenprogramm für blinde Menschen</b>	<b>181</b>
7.1	Nicht-visuelles Zeichnen mit dem Tangram Arbeitsplatz . . . . .	182
7.2	Zeichenmethoden . . . . .	183
7.2.1	Menü . . . . .	184
7.2.2	Gesten . . . . .	187
7.2.3	Freihandzeichnen . . . . .	190
7.2.4	Silhouetten . . . . .	195
7.2.5	Weitere Hilfsmittel zum taktilen Zeichnen . . . . .	200
7.3	Evaluation der Zeichenmethoden . . . . .	203
7.3.1	Testaufgabe und Vorbereitung . . . . .	203
7.3.2	Testaufbau . . . . .	205
7.3.3	Teilnehmende . . . . .	207
7.3.4	Testablauf und Materialien . . . . .	208
7.3.5	Ergebnisse . . . . .	209
7.4	Bewertung des Zeichenprogramms . . . . .	218
7.5	Fazit und Diskussion . . . . .	221

<b>8 Fazit</b>	<b>225</b>
8.1 Zusammenfassung . . . . .	225
8.2 Diskussion . . . . .	228
8.3 Ausblick . . . . .	232
8.4 Schlussbemerkung . . . . .	235
<b>Literatur</b>	<b>237</b>
<b>Glossar</b>	<b>269</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>273</b>
<b>Anhang</b>	<b>277</b>



# Abkürzungsverzeichnis

---

<b>API</b>	Anwendungsprogrammierschnittstelle – engl. <u>A</u> pplication <u>P</u> rogramming <u>I</u> nterface
<b>AT</b>	Assistive Technologie
<b>BANA</b>	Braille Authority of North America
<b>BITV</b>	Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung
<b>CAD</b>	Rechnerunterstütztes Konstruieren – engl. <u>C</u> omputer- <u>A</u> ided <u>D</u> esign
<b>CRPD</b>	Convention on the Rights of Persons with Disabilities
<b>CSV</b>	Comma-Separated Values
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DLL</b>	Dynamic Link Library
<b>DOM</b>	Document Object Model
<b>dpi</b>	Punkte pro Zoll – engl. <u>d</u> ots <u>p</u> er <u>i</u> inch
<b>EARL</b>	Evaluation and Report Language
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FF</b>	Force-Feedback
<b>FoV</b>	Sichtfeld – engl. <u>F</u> ield of <u>V</u> iew
<b>GUI</b>	grafische Benutzungsoberfläche – engl. <u>G</u> raphical <u>U</u> ser <u>I</u> nterface
<b>HTML</b>	Hypertext Markup Language
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>OCR</b>	Texterkennung – engl. <u>O</u> ptical <u>C</u> haracter <u>R</u> ecognition
<b>OSM</b>	Off-Screen Model
<b>PDF</b>	Portable Document Format
<b>POI</b>	Ort von Interesse – engl. <u>P</u> oint of <u>I</u> nterest
<b>QS</b>	Qualitätssicherung
<b>RGB</b>	Rot, Grün, Blau

<b>SD</b>	Standardabweichung – engl. <u>S</u> tandard <u>D</u> eviation
<b>SDK</b>	Software Development Kit
<b>SAPI</b>	Speech Application Programming Interface
<b>SUS</b>	System Usability Scale
<b>SVG</b>	Scalable Vector Graphics
<b>ToF</b>	Time of Flight
<b>TTS</b>	Sprachsynthese – engl. <u>T</u> ext <u>t</u> o <u>S</u> peech
<b>TLX</b>	Task Load Index
<b>UIA</b>	UI Automation
<b>UML</b>	Unified Modeling Language
<b>UN-BRK</b>	UN Behindertenrechtskonvention oder auch CRPD
<b>WCAG</b>	Richtlinien für barrierefreie Webinhalte – engl. <u>W</u> eb <u>C</u> ontent <u>A</u> ccessibility <u>G</u> uidelines
<b>WPM</b>	Wörter pro Minute
<b>WHO</b>	Weltgesundheitsorganisation – engl. <u>W</u> orld <u>H</u> ealth <u>O</u> rganization
<b>XML</b>	Extensible Markup Language



# Einleitung

---

Fotos, Bilder, Grafiken, Piktogramme, Icons und Emojis – wie auch immer man sie nennen mag, so stellen sie doch bildliche Informationen mit mehr oder weniger (wichtigem) Informationsgehalt dar. Klar ist zu erkennen, dass der bildliche Ausdruck als Kommunikationsform heutzutage sehr erfolgreich ist. Dies liegt sicherlich auch an den ubiquitär verfügbaren und für Laien einfach zu nutzenden Möglichkeiten, solche Inhalte zu erstellen, zu verändern, zu nutzen und letztendlich zu verteilen. Ebenso hat der soziale Druck, dieses Medium möglichst optimal einzusetzen, im privaten wie auch professionellen Umfeld zugenommen.

Was aber, wenn Personen(-gruppen) temporär oder dauerhaft diese Art der rein visuell geprägten Informationen nicht einfach konsumieren oder nutzen können? Es bleibt eine Informationslücke oder Barriere zurück, die mit alternativen Zugangsmöglichkeiten gefüllt und überbrückt werden sollte. Nicht für jede bildliche Untermalung muss es um jeden Preis eine Alternative geben. Im Sinne des gleichberechtigten Zusammenlebens mit Menschen mit Einschränkungen sind aber im Speziellen die Bereiche der Bildung, Kultur, des Berufslebens und des selbstbestimmten Handelns mit besonderem Engagement zu unterstützen.

Diese Arbeit soll sich mit der verbesserten Verteilung von fühlbaren (taktilen) Bildern, sowie der Unterstützung vor allem blinder Menschen bei der selbständigen Erstellung von Grafiken befassen.

## 1.1 Motivation

Für das Jahr 2020 schätzt die *International Federation of Aging* (IFA), dass weltweit etwa 2,8 Trillionen US-Dollar<sup>1</sup> an Kosten entstehen werden, die im direkten Zusammenhang mit dem Verlust des Sehvermögens von Menschen stehen [oIFA13]. Gerade Assistenzangebote für blinde Menschen sind ursächlich für diese Kosten. Je selbständiger blinde Menschen also werden, umso geringer fallen diese Kosten aus.

Die selbstbestimmte und selbständige Gestaltung seines Lebens – dazu zählt auch eine Erwerbstätigkeit zur Sicherung des Lebensunterhaltes – ist unter anderem durch stetigen Wissenserwerb und Austausch begleitet. Grafiken, wie Bilder, Karten, Schemata, Diagramme und Ähnliches, fördern stark das Verständnis für komplexe Sachverhalte [MG90], auch wenn diese bereits textuell erklärt werden [CL02]. Sehende Menschen präferieren eine gut gestaltete und informative Grafik gegenüber einer textuellen Beschreibung, die denselben Informationsgehalt darstellt [Loh97]. Auch in unserer Alltagssprache benutzen wir oft bildlich-visuelle Metaphern [Ken93].

**Alternativ-  
beschreibung** Der Zugang zu grafisch-bildlichen Inhalten erfolgt für blinde Menschen heutzutage – wenn überhaupt – durch eine Beschreibung des dargestellten Inhaltes. Obwohl es bereits Ansätze gibt, diese Beschreibung automatisiert erzeugen zu lassen [Wu+17], so können diese neben dem Grafiktyp meist nur Basisobjekte, wie Personen und Gegenstände, identifizieren. Die Beziehungen, die diese Bildelemente untereinander eingehen, bleiben oft unbenannt.

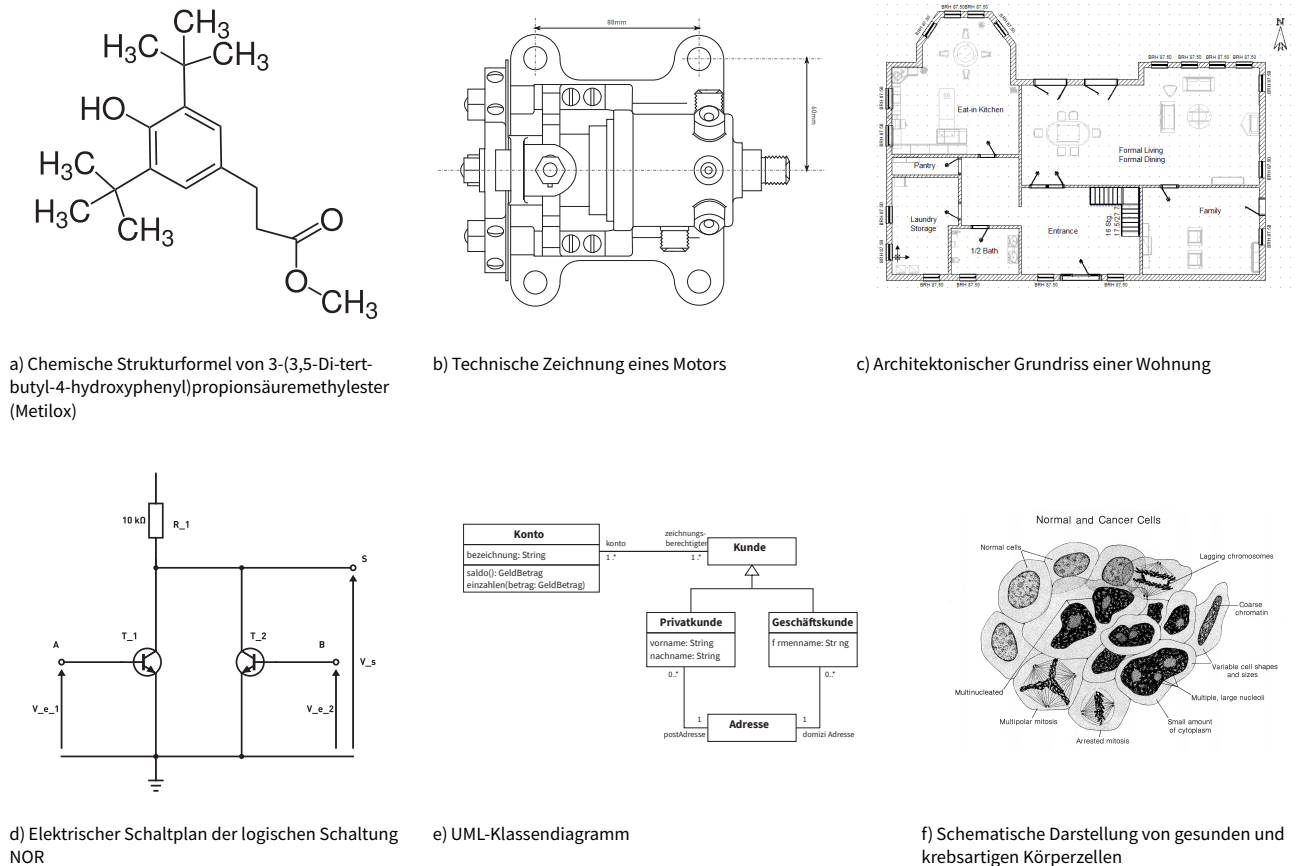
Die Lösung für solche Probleme ist die textuelle Beschreibung durch eine sehende Person. Im besten Fall ist diese sogar fachkundig und kennt darüber hinaus den Kontext, in den das Bild eingebettet ist. Der Kontext, in dem eine Grafik steht – beispielsweise der umgebende Text oder der Fachbereich, in dem sie eingesetzt ist – bietet die Grundlage zur Interpretation des Dargestellten.

Die Beschreibung durch eine andere Person bietet neben den ganz offensichtlichen Problemen, wie Unvollständigkeit, Unverständlichkeit oder fachlichen Fehlern, auch nur eine einzige mögliche Interpretation. Nicht immer ist die Interpretation einer Grafik eindeutig oder sie ist an die Aufgabe gebunden, die durch oder mit Hilfe der Darstellung bearbeitet werden soll.

**Grafiken ohne  
adäquate  
Beschreibung** Es existieren Grafiktypen, die nur schwer oder gar nicht zu verbalisieren und damit zu beschreiben sind. Dazu zählen beispielsweise Karten (kartografische Darstellungen, Lagepläne, etc.). Diese erhalten erst durch eine austauschbare und oftmals zeitlich begrenzte Aufgabe, zum Beispiel das Finden oder Beschreiben eines Weges oder einer Lage, ihre Bestimmung und damit die Grundlage für eine mögliche Beschreibung. Darüber hinaus gibt es andere Arten der Informationsvisualisierung, die durch ihre grafische Repräsentation eine Analyse der zugrundeliegenden Daten durch Menschen erleichtern oder gar erst zulassen. Als klassische Beispiele sind hier Diagramme von Messdaten oder Ähnlichem zu nennen.

In einigen Domänen haben sich standardisierte grafische Notationen etabliert. Neben den allgemein bekannten Formen zur Darstellung von Musiknoten oder mathematischen Formeln, werden vor allem technische Sachverhalte durch solche Schemata und Diagramme beschrieben (siehe Abbildung 1.1). Ziel ist es, diese Sachverhalte möglichst eindeutig zu beschreiben. Dies soll den Umgang effektiver und effizienter als mit einer entsprechenden Verbalisierung gestalten. Beispiele für solche Notationen finden sich vor allem in technisch, naturwissenschaftlichen Bereichen, wie Strukturformeln in der Chemie, Elemente und Kodierungen bei

<sup>1</sup> Für das Jahr 2010 wurden 2,3 Trillionen US-Dollar geschätzt.



**Abbildung 1.1:** Beispiele für grafische Notationen sowie technische und schematische Zeichnungen (Bildquelle *Wikimedia Commons*)

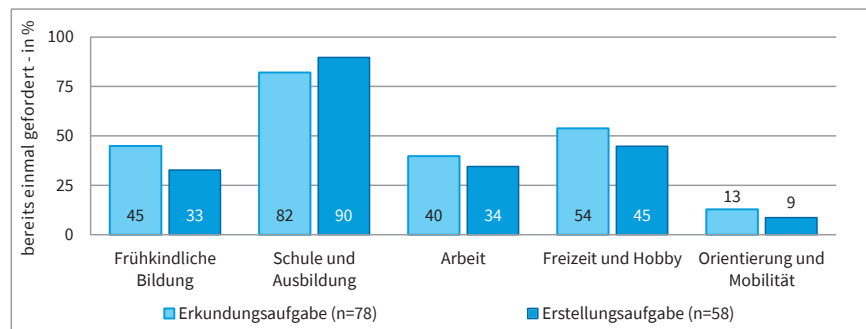
technischen Zeichnungen und Architekturplänen, Schaltpläne in der Elektrotechnik oder spezielle Diagrammtypen, wie UML in der Softwaretechnologie und Informatik. Auch gibt es Sachverhalte oder Objekte (Sterne, exotische Tiere, Mikroorganismen, etc.), die sich nicht unmittelbar über Berührungen des Originals erfahren lassen [SNM16].

Eine Darstellungsweise, die sowohl von der visuellen Form als auch von einer externen Verbalisierung unabhängig ist und damit eine selbständige Interpretationen zulässt, ist hier notwendig. Als Substitution für das Visuelle kann eine fühlbare Darstellungsform gewählt werden. Taktile Grafiken werden schon lange sowohl von sehenden als auch von sehbehinderten Personen in verschiedenen Einsatzbereichen als Kommunikationsmittel eingesetzt (siehe Abbildung 1.2). Gerade auch mit Hinblick auf die Kompetenzentwicklung betroffener Personen ist der Einsatz solcher Medien zum freien und selbständigen Konsum bildlicher Darstellungen notwendig und sinnvoll. Taktile Grafiken scheinen somit für Ausbildung und Beruf einen besonderen Mehrwert darzustellen [SNM16].

taktile Grafiken als Alternative

Rechtlich verbindliche Grundlage für die Bemühungen zum Abbau von Barrieren für Menschen mit Einschränkungen stellt seit 2016 die Willenserklärung aller Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) zur Einhaltung und Umsetzung der UN Behindertenrechtskonvention oder auch CRPD (UN-BRK) von 2006 dar. In der UN-BRK verpflichten sich die unterzeichnenden Staaten, Maßnahmen zur gleichberechtigten und selbstbestimmten Teilhabe von Menschen mit einer Behinderung in allen Teilen der Gesellschaft anzustrengen. Dabei steht nicht die Sonderbehandlung, sondern die Inklusion – also die gleichberechtigte und selbstbestimmte Teilhabe an der Gesellschaft – im Vordergrund. Für den Rahmen dieser

rechtliche Grundlage



**Abbildung 1.2:** Häufigste Einsatzbereiche für taktile Grafiken (Erkundung und Erstellung) durch blinde und sehbehinderte Menschen nach [\*PBW14]

Arbeit sind dabei vor allem die Erklärungen zu den Bereichen Zugang zu Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und -Dienstleistungen (Art. 9 Abs. 1 b), der freie Zugang zu Informationen und das Recht auf Meinungsäußerung (Art. 21), der Zugang zu Bildung (Art. 24) oder Arbeit (Art. 27 Abs. 1) und die Teilhabe am kulturellen Leben und der kulturellen Entwicklung einer Gesellschaft (Art. 30 Abs. 1 a und Abs. 2) von besonderer Bedeutung. Konkret sind die Rechte und Unterstützungsleistungen einzelner Betroffener in Deutschland jedoch in den zwölf Sozialgesetzbüchern geregelt.

Speziell im nationalen Recht gilt heute für alle IKT und digitalen Angebote des Bundes die Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV) [oJus19] zur Schaffung von Barrierefreiheit. In der früheren Anlage 1 (seit 2019 gestrichen und auf europäischer Ebene durch die DIN EN 301 549 [DIN18b] ersetzt) wurden Kriterien zur Prüfung auf Barrierefreiheit aufgelistet und in Prioritäten eingeteilt. Diese Kriterien basieren auf den allgemein anerkannten Richtlinien für barrierefreie Webinhalte – engl. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG)*<sup>2</sup> [oKir+18], die als De-facto<sup>3</sup>-Standard und als anzuwendender Stand der Technik zur Prüfung der Barrierefreiheit für Webanwendungen angesehen werden. Als mit höchster Priorität belegtes Kriterium (Priorität 1 in der BITV oder Level A in den WCAG) steht im Abschnitt „Wahrnehmbarkeit“, dass es zu jedem nicht-Text-Inhalt eine Textalternative geben muss, *die den Zweck des zu ersetzenden Inhaltes ebenfalls erfüllt*.

textuelle Alternative unzureichend Aus den vorangegangenen Ausführungen zu unzureichenden Textalternativen für bestimmte Grafiken, ergibt sich hier eine offensichtliche Diskrepanz zwischen dem – auch durch den Gesetzgeber – geforderten Optimum und dem tatsächlich Realisierbaren. Die derzeit auf europäischer Ebene geltende DIN EN 301 549 Norm sieht aber explizit für IKT und digitale Dokumente den Einsatz von taktilen Alternativen vor.

Taktil-grafische – also fühlbare – Alternativen werden jedoch nur selten eingesetzt; gerade wenn es eine textuelle Alternative gibt, die dem Zweck der Originalgrafik dient. Dennoch gehen in solchen Fällen auch Informationen verloren [Mil94]. An Stellen, an denen eine Verbalisierung an ihre Grenzen stößt, können taktile Medien zur Vermittlung grafischer Informationen herangezogen werden. Im schulischen Kontext werden häufig im Voraus präparierte taktile Materialien eingesetzt. Dies setzt eine relativ strikte und weit vorgegreifende Planung des Lehrenden voraus [Ras+14]. Gerade die fehlende Möglichkeit, taktile Materialien spontan und individualisiert zu erzeugen, macht Unterrichtssituationen wenig dynamisch, flexibel und damit auch kaum bedarfsorientiert.

<sup>2</sup> aktuell in der Version 2.1 vom Juni 2018

<sup>3</sup> lateinisch für „nach Tatsachen“ oder „nach Lage der Dinge“

Hinzu kommt, dass es gleichbleibende Sachverhalte gibt, die jedoch von Grafiker zu Grafiker unterschiedlich dargestellt werden, beispielsweise in verschiedenen Auflagen von Schul- oder Lehrbüchern [Mil94]. Diese dienen als Vorlage für die taktile Übersetzung. Die Frage, ob es für jede dieser unterschiedlichen Präsentationen eine eigene taktile Übertragung geben sollte, ist kontrovers zu diskutieren. Es stehen sich die Interessen der verfügbaren Ressourcen zur Umsetzung (Zeit, Personal, etc.), die didaktischen Ziele (gibt es bereits eine sehr gute taktile Darstellung?) und die Interessen der Integration und Zusammenarbeit mit sehenden Menschen, die auf das visuell-grafische Original Bezug nehmen, gegenüber.

Auch wenn taktil-grafische Materialien herangezogen werden, sind diese nicht immer für den Einsatzzweck optimal. So gaben in einer Studie von 2014 alle 102 befragten blinden und sehbehinderten Personen an, dass sie Probleme beim Lesen solcher Grafiken haben, diese teilweise nicht ihren Erwartungen entsprechen oder manchmal sogar ganz unbrauchbar sind [\*PBW14]. Jedoch stehen taktilen Präsentationsformen zur nicht-visuellen Vermittlung von Wissen nur wenig, wenn gar keine, Alternativen gegenüber. Die Qualität solcher Materialien zu verbessern, sollte also ein hehres Ziel sein.

Probleme mit  
taktilen  
Darstellungen

Darüber hinaus sollte das Medium „taktile Grafik“ nicht eingleisig angesehen werden. Auch die Erzeugung eigener grafisch-bildlicher Darstellungen ist nicht nur reiner Aktionismus im Sinne der Gleichberechtigung von sehbehinderten Menschen, sondern wird durch unsere Gesellschaft in Ausbildung und Beruf gefordert. Bildliche Darstellungen dienen der Kommunikation untereinander. Dabei ist es irrelevant, ob der Adressat ebenfalls sehbehindert ist oder nicht. Adäquate Möglichkeiten und Werkzeuge stellen hierbei die Basis zur Erfüllung solcher Aufgaben durch sehbehinderte Menschen dar. Derzeitige Lösungen, wie sie beispielsweise in der schulischen oder beruflichen Ausbildung von blinden und sehbehinderten Menschen eingesetzt werden, sind oft nicht gleichwertig in ihren Möglichkeiten zu solchen, die durch eine sehende Person genutzt werden können.

blinde und  
sehbehinderte  
Menschen als  
Autoren von  
Grafiken

Ein blinder Studienteilnehmer äußerte sich zum Umgang mit Grafiken als Konsument und Autor wie folgt:

*„Wir wurden in unserem schulischen und privaten Leben darauf trainiert, Grafiken zu vermeiden – darum tun wir es auch jetzt. Auch weil sie oft nicht viel Mehrwert haben.“*

Diese Denk- und Handlungsweise wird auch von anderen Forschern bestätigt [MB06]. Sehbehinderte Menschen geben an, dass sie oftmals nicht so stark von Grafiken profitieren würden wie sehende Personen. Dies würde auch an der immer noch sehr stark visuell geprägten Aufbereitung taktiler Materialien liegen.

Andererseits gibt es auch blinde und sehbehinderte Menschen, die sich die Möglichkeit zum selbständigen Erstellen von grafisch-bildlichen Inhalten wünschen [AL03; Ken93; HP10b; \*BPW15a; Swa+16; TMM15]. Oftmals entsteht dieser Wunsch erst, nachdem erfolgreich die ersten Zeichnungen gelungen sind und sich die Möglichkeiten als real erreichbar darstellen. Gerade im Bereich des Lernens gehört auch das Machen, Verstehen und Revidieren von Fehlern zum Konzept [Cla97]. Dies umzusetzen ist bei irreversiblen Zeichenmethoden, wie sie heutzutage meist eingesetzt werden (siehe Abschnitt 3.3.1.2 – *Spezielle manuelle Methoden für sehbehinderte Menschen*), eher schwer möglich. Stattdessen sind derzeitige eingesetzte taktile Zeichenmethoden umständlich zu handhaben, oft unzureichend in ihren Möglichkeiten und frustrierend [MB06].

Einsatzbereiche für ein barrierefreies Zeichenwerkzeug reichen vom privaten Umfeld (z. B. Gestalten von Geburtstagskarten oder Ähnlichem) über die Unterstützung in Ausbildung, Beruf und Wissenschaft bis hin zu Orientierung und Mobilität [HP10b; \*PBW14] (vergleiche

Einsatzbereiche  
für ein  
Zeichenwerkzeug

Abbildung 1.2). Darüber hinaus lässt sich mit einem solchen Werkzeug auch die mentale Bilderwelt blinder Menschen erschließen [KL00; Kur96].

In einer Onlinebefragung gaben von 32 blinden Personen 90 % an, während ihrer Schulzeit und in ihrem Berufsleben mehrfach dazu aufgefordert worden zu sein, selbst eine Grafik zu erstellen [GF16]. In der Schule wurden hauptsächlich Diagramme für naturwissenschaftliche Fächer (Chemie, Biologie, Mathematik, Physik und Informatik) gefordert. Aber auch im Sprachunterricht wurden grafische Lernmethoden eingesetzt und deren Einsatz von sehbehinderten Personen verlangt. Im beruflichen Kontext sind vor allem ingenieurstechische grafische Visualisierungen, wie UML zur Software-Modellierung, aber auch Karten, Diagramme und Organigramme gefordert.

SWAMINATHAN et al. befragten in ihrer Untersuchung zu einem taktilen Display mit Zeichmöglichkeiten sehbehinderte Menschen, wofür sie ein solches Hilfsmittel einsetzen würden [Swa+16]. Der Anwendungsfall der Darstellung und Erzeugung von Orientierungshilfen, wie Raumplänen und Straßenkarten, ist dabei ein immer wieder genannter Einsatzbereich. Auch die Auseinandersetzung mit geometrischen Formen, um ein besseres Verständnis davon zu erhalten, scheint für viele sehbehinderte Menschen mit der selbständigen aktiven Erzeugung solcher primitiven Grundformen einherzugehen [Ras+14]. Natürlich steht ebenso der Austausch grafischer Sachverhalte mit Freunden oder Kollegen – ob sehbehindert oder nicht – immer wieder im Fokus.

*Fazit* Es lässt sich somit festhalten, dass der gleichberechtigte Zugang zu grafischen Informationen durch eine weitere Verbreitung, einfacheren Zugang und bessere Qualität taktiler Grafiken gefördert werden sollte. Des Weiteren bestehen Unzulänglichkeiten in den Möglichkeiten des freien bildlichen Ausdrucks von Menschen mit schweren Beeinträchtigungen des Sehvermögens. Auch dies sollte in einer fortgeschrittenen, hoch technifizierten und inklusiven Gesellschaft als Problemfeld wahrgenommen und nach möglichen Lösungen gesucht werden.

## 1.2 Problemstellung

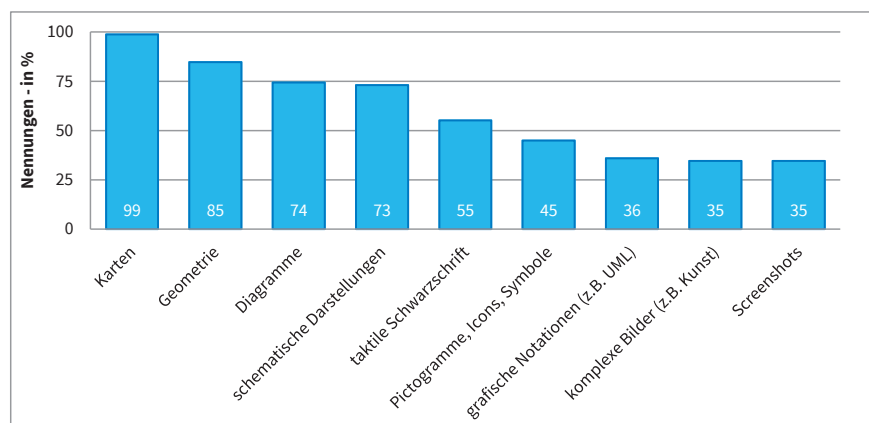
*„For the sighted and blind person alike, the imagination must take over where the diagram leaves off.“*

CAROLYN MILES [Mil94]

Die grafischen Repräsentationen in Fachbüchern zielen oft nur auf den sehenden Leser. Dadurch entsteht eine Barriere für die aktive Partizipation von Menschen, die diese nicht unmittelbar konsumieren können [Bal+13]. Der Umgang mit grafischen Darstellungen und Karten jeglicher Art stellt Lehrkräfte für sehbehinderte Menschen immer wieder vor große Herausforderungen [Ras+14].

Die Einsatzbereiche für taktile Grafiken sind breit (vergleiche Abbildung 1.3). In erster Linie finden sie jedoch im schulischen oder beruflichen Bereich sowie im Bereich Orientierung durch den Einsatz von Karten Anwendung (siehe Abbildung 1.2). So einfach sich diese drei Einsatzfelder zusammenfassen lassen, so divers sind die eingesetzten und damit benötigten Darstellungen. Dies zeigt, dass eine fundierte und aufgabenangemessene barrierefreie Umsetzung einer Grafik – sei dies nun in Form einer textuellen Alternativbeschreibung oder als taktile Abbildung – innerhalb einer zentralen Institution (z. B. eines Medienzentrums zur Umsetzung von Schul- oder Studienmaterial) theoretisch nicht durch eine einzige, universell eingesetzte Person zu leisten ist. Das Fachwissen um die speziellen Zusammenhänge, die die umzusetzende Darstellung betreffen, in Kombination mit zielgruppenspezifischen Qualitätsmerkmalen, sind die Kernprobleme, denen sich Transkribierende stellen müssen.

Problematik  
bei der  
Grafiktranskription



**Abbildung 1.3:** Grafiktypen, mit denen blinde und sehbehinderte Nutzende in Kontakt kommen (n = 78), nach [\*PBW14]

Dabei sind zwei Kompetenzen gefordert: Zum Ersten die Auseinandersetzung mit der eventuell stark domänenspezifischen Darstellung in Kombination mit darin eingebundenen didaktischen Aspekten, zum Zweiten fundiertes Wissen um die Problematiken und Eigenheiten der Zielgruppe, die durch die Transkription angesprochen oder unterstützt werden soll. Da sich diese Kompetenzen nicht einfach in einer Person bündeln lassen, erscheint der Einsatz kooperativer, oder noch besser kollaborativer, Methoden zur Bündelung verteilter Kompetenzen bei der Transkription oder Erstellung von zugänglichen Grafiken sinnvoll. Noch verschärft wird dieses Problem, wenn man sich den Umstand bewusst macht, dass viele zugängliche Grafiken durch Laien, wie Familienmitglieder, Mitschüler, Kommilitonen oder Hilfskräfte erstellt werden (vergleiche dazu Abschnitt 5.1 – *Literaturumsetzung und Erstellung taktiler Grafiken*).

Qualitätsmanagement	Dies alles führt dazu, dass viele blinde und hochgradig sehbehinderte Leser unzufrieden mit der Qualität der derzeit an sie ausgegebenen Materialien sind (siehe dazu Abschnitt 3.4 – <i>Probleme in taktilen Grafiken</i> ). Aus diesem Grund sind Mechanismen, Werkzeuge und Hilfestellungen zur Erzeugung besserer Materialien gefordert. Dazu sollten zunächst Laien darin unterstützt werden, für Grundsatzprobleme sensibilisiert zu werden, um diese zu vermeiden. Darüber hinaus sollte die Zusammenarbeit zwischen Personen unterschiedlicher Kompetenzen an einer Grafikumsetzung ermöglicht werden.
nutzerzentrierter Ansatz	Im besten Fall wird hierzu auch direkt und frühzeitig die Zielgruppe selbst – also blinde oder sehbehinderte Menschen – in den Umsetzungsprozess mit einbezogen. Aus dem Bereich der <i>Nutzerzentrierten Entwicklung</i> [ISO9241-21010] ist bekannt, dass durch frühzeitiges und wiederholtes Einbeziehen der Zielgruppe bessere Endprodukte entstehen können [ND86]. Gerade in Fällen, in denen diese Gruppe so divers ist wie die der blinden und sehbehinderten Menschen (siehe Abschnitt 2.1) und dazu oft stark in ihren Anforderungen und ihrer Wahrnehmung von denen der Autoren abweicht, erscheint dies besonders wichtig.
Einsatz dynamisch-taktiler Medien	Während das persistente Ergebnis des Transkriptionsprozesses auf verschiedenen taktilen Medien ausgegeben und verteilt werden kann (vergleiche Abschnitt 3.2.1 – <i>Statisch-taktile Medien</i> ), ist es durch seine Handhabung nur bedingt geeignet, um es in einem frühen Stadium des Erstellungsprozesses einzusetzen. Dieser zeichnet sich eventuell durch häufige Änderungen zur Annäherung an eine möglichst optimale Lösung aus. Grafikfähige dynamisch-taktile Anzeigemedien können hier eine Lösung sein (siehe Abschnitt 3.2.2 – <i>Dynamische Medien</i> ). Durch ihre flexible, meist auf digitalen Daten basierende, taktile Darstellung, kann ein unmittelbarer Zugang zu (grafischen) Zwischenergebnissen installiert werden. So könnte eine blinde oder sehbehinderte Person direkt am Erstellungsprozess einer Grafik teilnehmen und damit die Bedürfnisse der Zielgruppe vertreten sowie die eigenen Kompetenzen beratend einbringen.
Peer-Review	Solche paarweisen Kooperationen zur Bewertung von (semi-)automatischen oder manuellen Transkriptionsergebnissen (Peer-Review) sind beispielsweise bei der Textumsetzung in gekürzte Brailleschrift (siehe Abschnitt 3.1 – <i>Brailleschrift in Bildern</i> ) gängige Praxis <sup>4</sup> . Hier werden Originaltext und Braille-Text durch ein Paar, bestehend aus einer sehenden und einer sehbehinderten Person, auf Fehler oder Qualitätsprobleme untersucht. Dabei ließt abwechselnd einer der beiden laut vor, während der andere selbst in seiner Version simultan mitliest und vergleicht. Ein solcher Prozess des standardmäßigen Begutachtens durch eine betroffene Person ist für taktile Grafiken derzeit nicht gängig. Dies liegt sicherlich auch am derzeit deutlich höheren (technischen) Aufwand.
sehbehinderte Lektoren	Soll eine blinde Person neben den Möglichkeiten des Begutachtens auch noch die Befähigung zum selbständigen Abändern des Dokumentes bekommen, so steigt neben der ihr übertra-

<sup>4</sup> beispielsweise bei der Textumsetzung für Braille-Texte beim *Deutschen Zentrum für barrierefreies Lesen* (dzb lesen) in Leipzig



genen Kompetenz auch die – zumindest für grafische Inhalte – technische Komplexität zur Bereitstellung eines solchen Systems. Die blinde Person wird dadurch jedoch vom reinen Gutachter zum aktiv partizipierenden und selbständig agierenden Lektor. Die Kooperation und Kollaboration zwischen allen Teilnehmenden eines solchen Prozesses zu gewährleisten und bestenfalls zu fördern, stellt eine Herausforderung dar. Dies ist in erster Linie den hochgradigen Unterschieden in der Sichtweise auf den Inhalt, die Möglichkeiten der Wahrnehmung sowie den Handlungsmöglichkeiten der Teilnehmenden geschuldet. Gerade wenn grafische Konzepte in andere Modalitäten überführt werden sollen, ist dies oft mit einem Informationsverlust verbunden.

Da blinde und sehbehinderte Menschen im Laufe ihres Lebens auch mit der Aufgabe zur Erstellung eigener grafischer Inhalte konfrontiert sind, könnte ein solches System um selbständiges Zeichnen weitergehende Möglichkeiten des selbständigen nicht-visuellen Zeichnens erweitert werden. Wie kann aber eine blinde Person bestmöglich bei der Erstellung und Adaption von Grafiken unterstützt werden? Wie kann ein nicht-visuelles Zeichensystem in seiner Handhabung der komplexen und für die Nutzergruppe derzeit noch ungewöhnlichen Aufgabe angepasst werden?

Oft werden Nutzende mit Einschränkungen dazu gezwungen, ihre Handlungen an die Informationssysteme anzupassen, um – teilweise unzureichenden – Zugang zu deren Funktionen und Inhalten zu erhalten [KL00]. Besser sind Systeme, welche an die speziellen Bedürfnisse angepasst sind oder sich anpassen lassen. Diese Unzulänglichkeit liegt sicherlich auch darin begründet, dass den meisten Anwendungen ein sehendes Nutzermodell zugrunde liegt und Möglichkeiten der Anpassung oder Zugänglichkeit nicht vorgesehen werden. Eine deutliche Ausprägung dieser Tatsache ist der häufige und alternativlose Einsatz von Möglichkeiten zur direkten Manipulation von Objekten (beispielsweise auch durch *Drag & Drop*) mittels einer grafischen Benutzungsoberfläche. Zugänglichkeit von konventionellen Grafiksystemen

Gerade Programme zur Grafikbearbeitung oder zur Grafikerstellung sind aufgrund der stark visuellen Natur der Aufgabe prädestinierte Beispiele dieser Problematik. Sehbehinderten oder blinden Nutzenden bleibt der Zugang zu konventionellen Grafik- oder Zeichenprogrammen somit verwehrt. Insbesondere die weitreichenden Unterstützungswerkzeuge und die Möglichkeiten, (Zeichen-)Aktionen wieder zurückzunehmen und abzuändern, machen diese Programme so nützlich. Diese Hilfsmechanismen gehen oft weit über die hinaus, die blinden und sehbehinderten Grafikautoren bei derzeit gängigen Zeichenmethoden zur Verfügung stehen. Eine der größten Herausforderungen bei der nicht-visuellen Gestaltung dieser Programme und Konzepte ist laut KAMEL und LANDAY die Übersetzung des Dargestellten in eine für blinde Menschen zugängliche und verständliche Form [KL00].

Universelle Designkriterien sollen helfen, Angebote und Produkte zu schaffen, die allen Nutzern gleichermaßen gerecht werden [BC08]. Inwieweit und mit welchem Aufwand diese umzusetzen sind, bleibt offen und vom konkreten Einzelfall abhängig. Eine Umsetzung scheitert oft auch daran, dass ein ausreichend detailliertes Nutzermodell für alle möglichen Nutzergruppen vorhanden sein muss, um die entsprechenden Kriterien anwenden zu können.

## 1.3 Zielstellung

Im Rahmen dieser Arbeit sollen zwei grundlegende Ziele verfolgt werden. Zum Ersten sollen Maßnahmen zur Qualitätssicherung (QS) von taktilen Grafiken vorgestellt und untersucht werden. Zum Zweiten sollen blinde Menschen dazu befähigt werden, selbständig durch Nutzung eines digitalen Zeichenwerkzeuges Grafiken zu erzeugen und zu bearbeiten.

**Forschungsfrage 1**

Wie kann die Qualität taktiler Grafiken verbessert werden?

**QS durch Kriterienkatalog** Für die Sicherung der Qualität von taktilen Grafiken sollen zwei komplementäre Ansätze verfolgt werden. Der erste sieht vor, durch Bereitstellung eines Kriterienkataloges Laien darin zu unterstützen, eigenständig ihre Grafiktranskriptionen auf Grundsatzprobleme hin zu prüfen. Der Einsatz solcher Kataloge oder Prüflisten ist auch bei professionellen Institutionen zur Grafikumsetzung weit verbreitet (vergleiche dazu Abschnitt 5.1 – *Literaturumsetzung und Erstellung taktiler Grafiken*). Die durch Grafikkonsumenten berichteten Qualitätsprobleme (siehe Abschnitt 3.4 – *Probleme in taktilen Grafiken*) können jedoch durch den Einsatz eines solchen Kataloges allein wohl nicht behoben werden.

**Hypothese 1**

Die Anwendung von Richtlinien kann nicht alle Fehler in taktilen Grafiken vermeiden.

**QS durch kollaborativen Zeichenarbeitsplatz** Zur Sicherung der Qualität und zur Erzeugung von taktilen Grafiken, die besser an die Zielgruppe angepasst sind, soll der Ansatz verfolgt werden, eine blinde Person als Lektor frühzeitig in den Erstellungs- beziehungsweise Transkriptionsprozess einer taktilen Grafik einzubinden.

**Hypothese 2**

Das Bewerten durch blinde Lektoren und Lektorinnen während des Erstellungsprozesses mittels eines kollaborativen Zeichenarbeitsplatzes mit taktiler Interaktion kann die Qualität von damit erstellten taktilen Grafiken verbessern.

**Abgrenzung der Nutzergruppe und Grafiktypen** Dabei wird der Fokus explizit auf die Einbeziehung einer blinden Person gelegt. Sehbehinderte oder hochgradig sehbehinderte Personen, die ihren Restvisus noch nutzen, sollen an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden. Das vorgestellte Zeichensystem soll dabei nicht auf eine spezielle Art von Grafiken oder eine limitierte Domäne ausgerichtet sein. Es soll ein universeller Ansatz verfolgt werden, der sicherlich durch spezialisierte Ansätze für Mathematik, Musik, Karten oder spezielle Notationen erweitert oder ersetzt werden kann. Dabei sind neben den Möglichkeiten der freien Erkundung von Grafiken auch Werkzeuge zur Unterstützung von Kollaboration im Rahmen eines Peer-Reviews sowie Möglichkeiten der aktiven Manipulation von Teilen der Grafik durch blinde Teilnehmende zu installieren. Als taktiler Ausgabegerät soll dabei in erster Linie auf grafikfähige dynamische Flächendisplays (siehe Abschnitt 3.2.2.2) gesetzt werden, da diese für die Aufgabe am besten geeignet scheinen.

Die Ergebnisse aus einem solchen kollaborativen Prozess sollen dann auch als statisch-taktile Grafiken produziert und an sehbehinderte Menschen verteilt werden können.

**Hypothese 3**

Blinde und sehbehinderte Leser und Leserinnen können die mit dem Arbeitsplatz erstellten taktilen Grafiken in höherer Auflösung lesen und verstehen.

**taktiler Zeichenarbeitsplatz** Da eine selbständige und freie Erstellung von Grafiken auch durch blinde Nutzende möglich sein soll, sind entsprechende Funktionen zum Erstellen und Manipulieren von Grafikobjekten vorzusehen. Eine intuitive und der Aufgabe angemessene Gestaltung des nicht-visuellen

Zugangs zur Anwendung, deren Funktionen und natürlich der Grafik selbst, stehen dabei im Vordergrund. Die Vielfalt der mit einem solchen Arbeitsplatz erstellbaren Grafiken ist groß. Darum werden verschiedene Möglichkeiten zur Erzeugung von Grafikobjekten vorgestellt, untersucht und bewertet.

#### **Forschungsfrage 2**

Welche Interaktionstechniken eignen sich für blinde Menschen, um am Computer Bilder zu erstellen?

Es sollen klassische und der Nutzergruppe bekannte Interaktionsmechanismen, wie das Arbeiten mit Text-Menüs, angeboten werden.

#### **Hypothese 4**

Mittels Text-Menü können blinde Menschen effizient und robust taktile Grafiken aus vorgegebenen Formen selbst erstellen.

Auch das direkte Zeichnen mit dem Finger soll durch Gestenerkennung, die an eine vordefinierte Objektpalette geknüpft ist, ermöglicht werden.

#### **Hypothese 5**

Mittels Gesten können blinde Menschen einen effizienten und örtlichen Zugang zum Zeichnen vorgegebener Formen erhalten.

Für das Zeichnen komplexer Formen, die sich nicht einfach aus grafischen Primitiven (Grundformen) zusammensetzen lassen, muss es Möglichkeiten geben, Freiformen zu erstellen. Dazu kann eine Stifteingabe in Kombination mit taktiler Echtzeitausgabe genutzt werden.

#### **Hypothese 6**

Mittels Stifteingabe mit unmittelbarer taktiler Rückmeldung können blinde Menschen Freihandzeichnungen erstellen.

Gerade bei sehr komplexen (Frei-)Formen stoßen Zeichner schnell an die Grenzen ihres Könnens und benötigen weitere Unterstützung. Das Einsetzen von vorgefertigten komplexen Formen stellt hier ein probates Mittel dar, die eigenen Unzulänglichkeiten zu überwinden. Im taktilen Interaktionsraum können hier reale Objekte genutzt werden, deren Umrisse sich mittels Kamerasystem direkt in eine Grafik übertragen und anschließend bearbeiten lassen. So verschwimmen die Grenzen zwischen realen Objekten und taktiler Grafik.

#### **Hypothese 7**

Komplexe zweidimensionale Umrisse von realen Objekten können mittels kamera-basierter Technik schnell und einfach durch blinde Menschen in Grafiken eingefügt werden.

Im Allgemeinen soll mit dem Arbeitsplatz eine Möglichkeit geschaffen werden, dass auch blinde Menschen von den Vorteilen des computerunterstützten Zeichnens (CAD) profitieren können. Dazu zählen nicht nur eine gewisse Präzision in der Erstellung von exakten geometrischen Formen, sondern auch Gestaltungsaspekte. Nutzende sollen dabei unterstützt werden,

gute und für sich selbst befriedigende Zeichenergebnisse zu erzielen, die mit anderen geteilt werden können.

#### Hypothese 8

Taktile Grafiken, die blinde Menschen mit Hilfe des taktilen Zeichenarbeitsplatzes erstellen, sind für blinde und sehende Menschen lesbar und können von guter Qualität sein.

Abgrenzung des Funktionsumfangs Eine weiterreichende Unterstützung durch hochautomatisierte Transkriptionen oder die Erzeugung von Grafiken aus Datensätzen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht praktisch beleuchtet. Ebenso konzentriert sich das Grafikwerkzeug hauptsächlich auf die Erstellung zweidimensionaler Zeichnungen. Der Umgang mit künstlerischen Darstellungen (Malerei) oder mit naturnahen Bildern (z. B. Fotografien) soll nicht primär Teil dieser Arbeit sein. Auch die Konstruktionen von dreidimensionalen Objekten – beispielsweise für die Erstellung mittels 3D-Druck – sind nicht Bestandteil der hier vorgestellten Untersuchungen.

## 1.4 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich grundlegend in fünf thematische Abschnitte. Der erste Abschnitt von Kapitel 2 – *Die Arbeitsweise blinder Menschen* bis Kapitel 4 – *Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen* soll dem Leser die grundlegenden Begrifflichkeiten, technischen Rahmenbedingungen, Zielmedien und natürlich auch die Zielgruppe der erarbeiteten Systeme näher bringen. Diese Kapitel dienen auch dazu, die an die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Systeme gestellten Anforderungen zu erheben und zu begründen.

In Kapitel 5 – *Qualitätsmanagement für taktile Grafiken* soll ein Katalog von Qualitätskriterien für taktile Grafiken vorgestellt und dessen Tauglichkeit als alleiniges Qualitätssicherungswerkzeug untersucht werden. Im darauffolgenden Kapitel 6 – *Kollaborative Erstellung taktiler Grafiken* wird der zugängliche und kollaborative Grafik-Lektorenarbeitsplatz beschrieben und evaluiert. Dabei werden die technischen Grundlagen erläutert, die auch die Basis für den multimodalen Zeichenarbeitsplatz aus Kapitel 7 – *Multimodales Zeichenprogramm für blinde Menschen* darstellen. In diesem Kapitel werden vier verschiedene Methoden zur Erzeugung von Grafikobjekten vorgeschlagen und anschließend evaluiert. Darüber hinaus werden weitere Hilfsmittel zur Unterstützung blinder Grafikautoren präsentiert.

Eine abschließende Bewertung und kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen dieser Arbeit findet in Kapitel 8 statt.

### Hinweise zum Lesen dieser Arbeit

Diese Arbeit ist das Ergebnis von mehreren Jahren Forschung und ist in großen Teilen bereits separat national und international veröffentlicht. Solche Quellen sind speziell mit einem Stern \* (z. B. [\*Bor00]) gekennzeichnet. Bezieht sich ein ganzer Abschnitt oder Teile eines Abschnittes auf eine solche Veröffentlichung, ist diese als Verlinkung (QR-Code) in den Marginalien zu Beginn des jeweiligen Teils klar gekennzeichnet. Nicht alle Informationen aus dieser Arbeit sind auch in den zugrundeliegenden Veröffentlichungen enthalten. Teilspekte der präsentierten Ergebnisse basieren auf Erkenntnissen, die studentischen Arbeiten entstammen. Diese Arbeiten sind als Quellen genannt und ebenfalls speziell als solche durch ein vorangestelltes kleines s gekennzeichnet (z. B. [sBor01]).

Grundsätzlich wurde versucht, der guten wissenschaftlichen Praxis folgend, beständige sowie Primärquellen anzugeben. Auf volatile Quellen wurde weitestgehend verzichtet, wenn eine Alternative vorhanden ist. Dennoch lässt sich der Bezug auf beispielsweise Online-Quellen – gerade wenn es um kommerzielle Produkte und Ähnliches geht – nicht immer vermeiden. Solche Quellen sind mit einem kleinen o (z. B. [oBor02]) kenntlich gemacht.

Sollte ein spezieller Begriff im Laufe dieser Arbeit einmal nicht eingeführt werden, lohnt sich ein Blick in das Glossar ab Seite 272. Hier werden einige zusätzliche Begrifflichkeiten erklärt.

#### Anmerkung

*Im Folgenden wird versucht, möglichst auf eine geschlechterneutrale Formulierung zurückzugreifen. Nicht immer ist dies im Sinne einer guten Lesbarkeit möglich. In solchen Fällen wird auf die männliche Form zurückgegriffen. Alle anderen Geschlechter sind dabei aber ebenso adressiert – dies stellt keine Wertung dar.*



# 2

Kapitel

## Die Arbeitsweise blinder Menschen

---

Die Zielgruppe für seine Arbeit zu kennen oder besser kennenzulernen ist eines der Kernkonzepte der nutzerzentrierten Entwicklung (engl. User-Centered Design) [ISO9241-21010]. In diesem Kapitel soll die Zielgruppe für diese Arbeit – blinde Menschen – vorgestellt werden. Gerade die großen Unterschiede in der Wahrnehmung und in den Handlungsweisen, die sich stark von denen sehender Menschen unterscheiden, machen es notwendig, sich fundiert mit diesen Unterschieden und den sich daraus ergebenden Anforderungen für geeignete Werkzeuge und Hilfsmittel auseinanderzusetzen. Dabei sind sowohl Aspekte der Wahrnehmung, Interaktion mit dem Computer und natürlich der Umgang mit Grafiken selbst zu betrachten.

### 2.1 Blinde Menschen

In Deutschland gilt jemand dem Gesetz<sup>1</sup> nach als *sehbehindert*, wenn er trotz Sehhilfe auf seinem besseren Auge nicht mehr als 30 % der Sehkraft eines normalsichtigen Menschen aufweist. Als *hochgradig sehbehindert* gilt, wer nicht mehr als 5 % Sehrest besitzt und als *blind*, falls sein Sehvermögen nur noch 2 % oder weniger beträgt, beziehungsweise das mögliche Sichtfeld auf höchstens 5 Grad beschränkt ist. In dieser Arbeit werden Fehlsichtigkeiten, wie Nacht- oder Farbenblindheit, nicht berücksichtigt.

Begiffs-  
bestimmung

Die Weltgesundheitsorganisation – engl. World Health Organization (WHO) geht in ihrem Bericht für das Jahr 2010 [oWHO12] weltweit von etwa 39 Millionen blinden (etwa 0,6 % der Weltbevölkerung) und rund 246 Millionen hochgradig sehbehinderten Menschen (ca. 3,7 % der Weltbevölkerung) aus. In Europa schätzt die WHO immer noch 2,7 Millionen blinde (ca. 0,3 % der Bevölkerung) und 25,5 Millionen hochgradig sehbehinderte (ca. 2,9 % der Bevölkerung)

Anzahl  
sehbehinderter  
Menschen

---

<sup>1</sup> Verordnung zur Durchführung des § 1 Abs. 1 und 3, des § 30 Abs. 1 und des § 35 Abs. 1 des Bundesversorgungsgesetzes (Versorgungsmedizin-Verordnung - VersMedV): Anlage zu § 2 der Versorgungsmedizin-Verordnung vom 10. Dezember 2008 – Teil A.6.a (Seite 14) –  
Url: <https://www.gesetze-im-internet.de/versmedv/anlage.html--zuletztbesuchtFeb.2020>

Menschen. Für Deutschland gibt das *Statistische Bundesamt* eine Schätzung für 2017<sup>2</sup> von etwa 75.000 blinden und 276.000 sehbehinderten Menschen ab. Rund 80 % der sehbehinderten Menschen in Deutschland sind über 60 Jahre alt und 58 % sind Frauen [oBun19]. Schätzungen zufolge gehen weniger als 30 % der blinden Menschen im erwerbsfähigen Alter einer festen und bezahlten Arbeit nach [oAma01; Ama02; oSch97].

**Unterteilung der Nutzergruppe** Die Benutzergruppe der blinden Menschen wird häufig nach dem Alter beim Eintritt der Erblindung unterschieden. Dabei ergeben sich drei Gruppen: (1) Menschen, die seit Geburt oder kurz danach erblindet sind (*geburtsblind*); (2) Menschen, die in ihrer frühen Kindheit<sup>3</sup> erblindet sind (*früherblindet*) und Menschen, die später im Leben erblindet sind (*späterblindet*).

Diese Einteilung geht auf den Gedanken zurück, dass die Erfahrungen, die ein Mensch mit dem Sehen gemacht hat, sein Denken und Handeln beeinflussen könnten. Der Grad oder die Dauer, über die ein Mensch visuelle Eindrücke erfahren hat, sollen also sein Können und Handeln auch nach dem Verlust der Sehkraft beeinflussen. Demnach nehmen geburtsblinde Menschen eine Sonderrolle ein, da sie gegebenenfalls niemals visuelle Eindrücke, wie beispielsweise Farben oder Perspektive, erfahren haben.

Diese klassische Einteilung greift allerdings ein wenig zu kurz. Auch aus eigener Erfahrung mit einer Vielzahl von blinden Menschen kann man sagen, dass für das Können und Handeln eines blinden Menschen in erster Linie Vorerfahrung – die nicht nur aus visueller Wahrnehmung bezogen werden kann – und Übung eine deutlich größere Rolle spielen. Für das Verständnis von grafischen Darstellungen und einen zielgerichteten bildlichen Ausdruck scheint dennoch ein visuelles Denken mit entsprechender Vorerfahrung von Vorteil. Eine weitere Einteilung der Zielgruppe, die auch für diese Arbeit Relevanz hat, kann nach der Fähigkeit zum Lesen von Brailleschrift erfolgen.

## 2.2 Erkunden von taktilen Grafiken

Taktile Grafiken bereitzustellen ist nur der erste Schritt. Wie diese konsumiert und gelesen werden ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt. Das Verständnis für die Mechanismen und Eigenschaften der taktilen Wahrnehmung, der eingesetzten Strategien zum Lesen einer solchen Grafik und der damit einhergehenden Herausforderungen, sollte daher jedem Autor taktiler Grafiken bewusst sein. So kann auf die speziellen und vom visuellen Betrachten einer Grafik hochgradig unterschiedlichen Bedürfnisse eingegangen und ihnen Rechnung getragen werden.

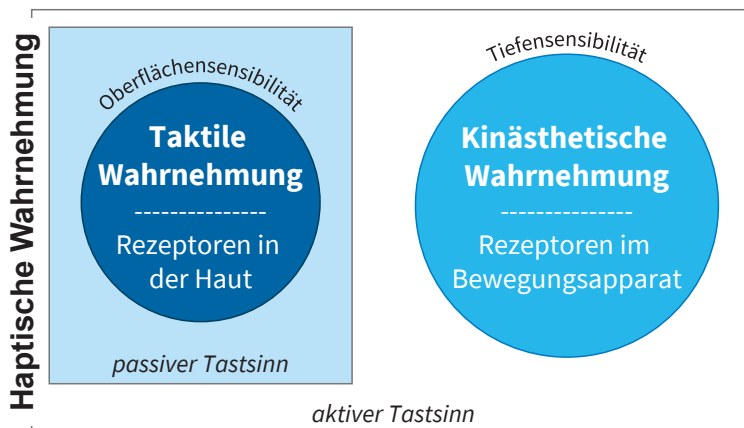
### 2.2.1 Taktile Wahrnehmung von Grafiken

**Seh- und Tastsinn** Über den Sehsinn lässt sich rund 1 Mbit/s an Informationen aufnehmen [AL75]. Der größte Vorteil ist jedoch die Fähigkeit, mehrere Informationen scheinbar simultan zu erfassen und schnell den Kontext wechseln zu können. Zudem können auch Objekte in weiter Entfernung wahrgenommen werden. Demgegenüber steht der Tastsinn als Nahsinn, der nur eine Kapazität von circa 100 bit/s und damit nur rund ein Zehntausendstel des Sehsinnes leistet

<sup>2</sup> Statistisches Bundesamt, Anzahl der Sehbehinderten\* in Deutschland nach Art der Behinderung in den Jahren 2011 bis 2017, Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/247948/umfrage/anzahl-der-sehbehinderten-in-deutschland-nach-schwere-der-behinderung/> – zuletzt besucht Nov. 2019

<sup>3</sup> Ein konkretes Alter ist dabei nicht festgelegt. Es hat sich aber etabliert, etwa das Schuleintrittsalter zwischen dem fünften und siebten Lebensjahr als Schwelle anzusetzen.



**Abbildung 2.1:**

Komponenten und Definitionen der haptischen Wahrnehmung nach [Pre16, S. 8]

[Kok87]. Zudem beschränken sich viele Menschen nur auf den Einsatz der Fingerkuppen von wenigen Fingern. Daraus folgt natürlich auch, dass die Aufnahme beispielsweise grafischer Informationen deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt, als dies durch visuelles Betrachten der Fall ist [Spe+92]. Nach HELLER und SCHIFF ist jedoch der Tastsinn fünfmal schneller als der Sehsinn [HS91, S. 54]. Das Tasten ist zudem die einzige bidirektionale Interaktionsmethode – das heißt durch das Tasten können gleichzeitig Informationen aufgenommen werden und Energie für Interaktion übertragen und damit Eingaben getätigt werden [Sad11, S. 3].

Die Begrifflichkeiten *Haptisch*, *Kinästhetisch* und *Taktil* zu differenzieren fällt auch in der Literatur nicht immer ganz eindeutig aus. Die in dieser Arbeit verwendeten Begriffe orientieren sich in ihrer Bedeutung an der folgenden Definition nach LOOMIS und LEDERMAN [LL86, S. 2 f.]: Unter *taktile Wahrnehmung* sind die externen Stimuli der in der Haut befindlichen Rezeptoren zu verstehen (passiver Tastsinn). Die *kinästhetische Wahrnehmung* stützt sich derweilen auf die Informationen, die wir aus unserem Bewegungsapparat (Muskeln, Sehnen, Gelenkstellung, etc.) selbst erfahren. Die *haptische Wahrnehmung* kombiniert beide Informationsquellen und bildet damit den aktiven Tastsinn (vergleiche Abbildung 2.1).

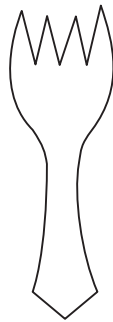
Begriffs-  
bestimmung der  
Haptik

Die Fingerspitzen – konkret die Fingerbeeren – gehören zu den sensibelsten Regionen unseres Körpers. In Experimenten ließ sich nachweisen, dass Menschen an den Fingerspitzen zwei Stimuli ab einem Abstand von 1 mm als getrennt voneinander wahrnehmen können [Han06, S. 211]. In der Handfläche sind es bereits nur noch 3–5 mm. Dieses lässt sich jedoch nicht verallgemeinern, da die Art des Reizes, Übung, Sensibilität, Sensitivität und auch Ablenkung oder Ermüdung einen großen Einfluss haben [KB95]. Der besagte 1 mm Abstand gilt nur bei ruhenden, also passiv präsentierten, Reizen. Bei der aktiven Erkundung, also dem Überstreichen mit den Fingern, können auch deutlich kleinere Strukturen erkannt werden [Pap+09]. Grundsätzlich unterscheiden sich die Tastfähigkeiten von blinden und sehenden Menschen nicht [SA85, S. 42 ff.]. Blinde Menschen gelten nur als trainierter und damit aufmerksamer in ihrer Wahrnehmung.

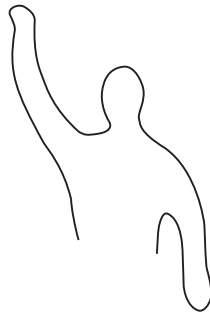
Sensitivität

Es bleibt festzuhalten, dass das aktive Tasten dem passiven Wahrnehmen von präsentierten Stimuli überlegen ist [Gib62]. Das heißt, die aktive Bewegung über ein taktilen Muster stellt einen Vorteil für die Erkennung des selbigen gegenüber der passiven taktilen Präsentation am ruhenden Finger dar [Ken93]. Dies könnte zum einen an der steten Veränderung der taktilen Stimuli während einer Bewegung liegen, die einer Adaption der Rezeptoren entgegenwirkt. Zum anderen könnte die Zielgerichtetheit beim aktiven Abtasten einen positiven Einfluss haben. Das aktive Handeln hat also im haptischen Erkundungsprozess positiven Einfluss und sollte unterstützt und gefordert werden. Beim aktiven Tasten legt der Nutzende, absichtlich oder nicht, selbst die Reihenfolge der Stimuli fest, was entscheidenden Einfluss auf die Erkennung der Merkmale hat [BB77].

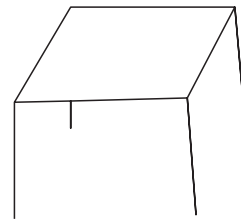
aktives und  
passives Tasten



a) Gabel – verwechselt als Tierpfote mit Krallen, Pflanzenblatt, Kerzen, Mistgabel, Pinsel, Fuß, Baum, Blume, ...



b) Person, die einen Arm hebt – wurde beispielsweise verwechselt mit einem Kamel



c) Tisch – wurde ebenfalls verwechselt, beispielsweise mit einem Haus (Bungalow)

**Abbildung 2.2:** Taktile Grafikbeispiele und deren Verwechslungen aus einem Experiment zur Objekterkennung nach [Ken93, S. 57]

**tastbare Inhalte** Die Tastfähigkeiten des Konsumenten stellen nur einen Faktor bei der Betrachtung von taktilen Grafiken dar. Ein weiterer Faktor sind natürlich die dargestellten Inhalte. Für ein leichteres Verständnis von Grafiken müssen oft Details weggelassen werden (vergleiche Abschnitt 5.2 – *Qualitätsmerkmale und Richtlinien für taktile Grafiken*). Auf der anderen Seite müssen aber auch manchmal Informationen, wie taktile Füllmuster, hinzugefügt werden, um das Verständnis zu erleichtern [Mil94]. Nach MILES soll gerade der geeignete Einsatz von taktilen Füllmustern das Verstehen von Grafiken enorm erleichtern [Mil94]. Dennoch stellt vor allem die Außenlinie (Kontur) einer Form das Hauptmerkmal zur Orientierung und zur Erkundung dar – unabhängig von der gewählten Füllung [KGN91].

Räumliche und bildliche Informationen werden durch unser Gehirn im sogenannten visuellen Kortex verarbeitet [Kos94]. Interessanterweise nutzen auch blinde Menschen genau diesen Bereich im Gehirn für die Interpretation taktiler Darstellungen. Dabei werden offensichtlich dieselben Mechanismen des Sehens auch auf die taktile Erkennung angewendet [Hin91]. Zuerst wird eine grobe Einordnung des Ertasteten vorgenommen, die dann durch detaillierte Charakterisierung vervollständigt wird – genauso wie die Informationsspeicherung des menschlichen Gehirns selbst aufgebaut ist [Shn03]. Was passiert aber, wenn taktile Grafiken rein visuelle Aspekte, wie beispielsweise Schatten oder Lichtverläufe, darstellen sollen? Ob gerade geburtsblinde Menschen diese Darstellungen überhaupt intuitiv interpretieren und verstehen können ist fraglich [Ken93].

**Interpretation und Kontext** Neben der reinen Wahrnehmbarkeit steht also auch die richtige Interpretation der gefühlten Form. Gerade die Mehrdeutigkeit von Gestaltungsformen stellt Leser vor große Herausforderungen (vergleiche Abbildung 2.2). Sie müssen entscheiden, welche der möglichen Alternativen, die sie in einer Form erkennen, die wahrscheinlichste ist. Die richtige Wahl und ob überhaupt eine richtige Interpretation gefunden wird, hängt nicht zuletzt vom Vorwissen und dem Erfahrungsschatz des Lesenden ab. Auch der Kontext, in den die Grafik und ihre Einzelteile gesetzt werden, hilft dabei, die richtige Interpretation zu finden. Durch Wissen um den Kontext kann die Erkennungsrate von Objekten um das Vier- bis Fünffache gesteigert werden [Ken93, S. 71].

**interaktives Erkunden mittels Zoom und Verschieben** Auch im Rahmen der Interaktionen auf taktilen Grafiken sind Eigenheiten der taktilen Wahrnehmung zu beachten. Das Vergrößern und Verkleinern (*Zooming*) beziehungsweise das Verändern des gezeigten Ausschnittes (*Panning / Scrolling*) von Darstellungen kann sich negativ auf die Erkundung und Erkennung auswirken. Blinde Menschen können in solchen

Fällen ihren Kontext und damit die Verbindung zur vorhergehenden Darstellung verlieren. Sie müssen dann die Darstellung grundlegend neu erkunden und ihre Referenzpunkte wiederfinden [Swa+16]. Dabei müssen sie zudem die gesuchten oder referenzbildenden Objekte und Formen wiedererkennen, obwohl diese durch eine Zooming-Operation eventuell ihre Gestalt verändert haben [PW17]. Diese Operationen entsprechen damit für blinde Nutzende nicht einem visuellen Äquivalent des (kontinuierlichen) optischen Vergrößerns oder Verkleinerns, sondern eher dem Umblättern auf eine neue Darstellung – vergleichbar mit dem Umblättern in einem Straßenatlas. Diese neue Darstellung steht zwar in Relation zur vorherigen, gibt diese aber nicht immer intuitiv preis.

### 2.2.2 Erkundungsstrategien

Das Wissen um gängige Interaktions- und Erkundungsmechanismen für taktile Grafiken kann helfen, diesen bei der Gestaltung Rechnung zu tragen und damit einen intuitiveren Zugang zum Dargestellten zu ermöglichen. Davon sind in erster Linie die Platzierung und Gestaltung der Inhalte betroffen. Die folgende Zusammenfassung von Erkundungsstrategien sehbehinderter Menschen basiert auf der Recherche von GERLACH [sGer12] und PRESCHER [Pre16, S. 16 ff.] und ist in den Schulungsmaterialien von D. BORNSCHEIN und ENGEL [oBE18] nochmals detailliert beschrieben.

Anmerkung

Blinde Menschen nutzen zum Lesen von Inhalten ihre Hände. In den meisten Fällen werden beim detaillierten Lesen nur die Fingerspitzen und davon sogar oftmals nur die eines Zeigefingers eingesetzt. Beim Lesen von Text beobachtete WORMSLEY neben dem einhändigen Lesen (mit der linken oder rechten Hand) auch den Einsatz der nicht aktiven Hand als (Zeilen-)Marker und bei geübten Lesern sogar das beidhändige Lesen [Wor96]. Wobei sich bei letzterem die beiden Hände die Aufgaben zu teilen scheinen, entweder liest die zweite Hand die Zeile fertig oder sucht bereits nach der nächsten Zeile. Für (Fließ-)Text – also eine sequentielle Darstellungsweise – mögen diese Strategien ausreichend sein. Für räumlich verteilte oder gar grafische Inhalte werden andere Erkundungsstrategien empfohlen.

Lesebewegung

Ein großes Problem bei räumlich verteilten Informationen ist, dass der Leser abseitsstehende Elemente gar nicht erst in ihrer Existenz wahrnimmt und sie damit auch nicht in seine Erkennung und Interpretation mit einbezieht. Die Anwendung systematischer Erkundungsstrategien soll diesem Problem vorbeugen. Dabei unterteilt HELIOS gängige Strategien in zwei primäre Phasen [oHel01]: (1) beim *orientierenden Tasten* wird ein erster Überblick erlangt, der dann im (2) *erkennenden Tasten* detailliert erkundet wird.

Erkundungsphasen

Bei der Erlangung eines Überblicks steht neben dem reinen Finden von Objekten auch die Bewertung der räumlichen Beziehungen zueinander. So lässt sich eventuell bereits in dieser frühen Phase ein Bezugssystem schaffen. Verlässliche Bezugs- oder Referenzsysteme sind für blinde Menschen besonders wichtig, um die Orientierung nicht zu verlieren. Dabei können externe Merkmale (Ränder, Rahmen, Hilfsraster) wie auch inhaltliche Referenzpunkte (markante Punkte) genutzt werden. Der Leser selbst stellt aber immer noch das wichtigste Referenzsystem – körperzentrierte Präsentationen sind demnach zu bevorzugen [SCS16]. Eine weitere Möglichkeit zur Bildung einer Referenz und zur Wahrung der Orientierung ist der Einsatz beider Hände zum Erkunden. Dabei ruht die eine Hand auf einem Referenzpunkt, während die zweite Hand die Peripherie erkundet [Swa+16].

Zur Erkundung von grafischen Darstellungen scheinen allgemeine beidhändige Strategien am weitesten verbreitet und damit auch am geeignetsten. BERLÁ hat in einer Untersuchung zur Kartenerkundung eine Reihe von beidhändigen Strategien zum Erlangen eines Überblicks identifiziert [Ber72]. Neben dem Einsatz einer Referenzhand am Rand des Dokumentes werden vor allem horizontale oder vertikale Zeilen beziehungsweise Reihen über die Darstellung

systematische Methoden zur Gewinnung eines Überblicks

abgefahren, um die gesamte Fläche abzudecken. Manche Leser führten diese linearen Bewegungen nur in eine Richtung (unidirektional) aus und setzten dann am Referenzfinger neu an (wie beim Lesen), andere nutzten auch den Rückweg zum Erfühlen (bidirektional). Neben linearen Methoden wurden auch spiralförmige Bewegungen vom Zentrum zu den Außenkanten (Perimeter) oder das strahlenförmige Abtasten von einem Referenzfinger nach außen (Speichenrad) beobachtet. Manche Leser teilten die Gesamtgrafik in (rechteckige) Bereiche ein und erkundeten diese nacheinander (gebundene Suche). Am weitesten verbreitet – leider aber auch am anfälligsten für das „Übersehen“ von Elementen, weil am unstrukturiertesten – ist das initiale Erfassen von Dichteverteilungen auf der Darstellungsfläche, wobei im Nachgang die einzelnen „Haufen“ dann detaillierter erkundet werden.

**Konturenverfolgung** Die Gewinnung eines Überblicks und Bildung eines Referenz- oder Bezugssystems ist nur der erste Teil beim Erkunden. Der zweite ist natürlich das Erfassen der dargestellten Inhalte. Dazu dient in erster Linie die Kontur – also die Außenkante einer Form – als maßgebliches Merkmal. Diese wird möglichst kontinuierlich abgegangen [BB77]. Auch hier kann ein Referenzfinger zur Bestimmung von Anfang und Ende einer Form genutzt werden. Die gute Wahrnehmbarkeit der Objektkonturen stellt somit einen der entscheidenden Faktoren bei der Präsentation von grafischen Informationen dar.

**einhändiges- oder beidhändiges Erkunden** MORASH et al. konnten in Experimenten mit sehenden und blinden Menschen zeigen, dass das Erkunden mit mehreren Fingern deutlich schneller ist und darüber hinaus weniger Fehler passieren [Mor+14]. Jedoch stellten sie auch fest, dass beidhändiges Arbeiten bei blinden Menschen oftmals nicht effektiver ist als einhändiges Arbeiten mit mehreren Fingern. Während die Erlangung des globalen Überblicks mit zwei Händen deutlich effizienter ist, sind die Ergebnisse beim Verfolgen von Linien nicht so eindeutig. Beim Abmessen von Distanzen ist die Nutzung einer einzigen Hand mit mehreren Fingern dagegen am geeignetsten.

## 2.3 Interaktionsformen

basiert auf



[\*Bor+13]

Durch den Verlust des visuellen Informationskanals müssen blinde und stark sehbehinderte Menschen bei der Arbeit mit Computern auf Alternativen ausweichen. Der visuelle Faktor hat durch hochauflösende und große Displays in den letzten Dekaden an Bedeutung gewonnen. Dies muss für Menschen, für die dieser Kanal nicht zugänglich ist, kompensiert und durch andere Modalitäten bestmöglich substituiert werden. Zugang zu solchen Informationen wird häufig durch sogenannte assistive Technologie angeboten. In den folgenden Abschnitten wird versucht, die Interaktionsweisen und Techniken von blinden Menschen – vor allem im Umgang mit Computern – zu beschreiben. Dabei wird sowohl auf technische Hilfsmittel, wie auch Eigenheiten und Eigenschaften der Interaktion und Schnittstellen eingegangen.

### 2.3.1 Computerbedienung blinder Menschen

**Screenreader und Braillezeile** Seit vielen Jahrzehnten bieten Screenreader (siehe Abschnitt 2.4 – *Screenreader und Off-Screen-Model*) den selbständigen Zugang zu Benutzungsoberflächen von Computerprogrammen. Sie füttern taktile wie auditive Ausgabemodalitäten mit Informationen und bieten darüber hinaus Möglichkeiten zur Steuerung des Computers und der Anwendungen. Der lesende Zugang zu Textinhalten erfolgt dabei meist über ein taktiles Stiftdisplay, das Blindenschrift in Form von Braille-Buchstaben (siehe Abschnitt 3.1 – *Brailleschrift in Bildern*) ausgeben kann – sogenannte *Braillezeilen* (siehe Abbildung 2.3). Braillezeilen, die in unterschiedlichen Längen verfügbar sind, ermöglichen es dynamisch Braille-Text fühlbar an den Nutzenden auszugeben. Am häufigsten sind dabei Geräte, die entweder maximal 40 oder 80 Textzeichen darstellen können.



a) Braillezeile mit Routing-Tasten und integrierter Standard-(QWERTZ-)Tastatur



b) Mobiles Notizgerät mit Braillezeile und Braille-Tastatur (Bildquelle HIMS Inc.)

**Abbildung 2.3:** Braillezeile und Braille-Notizgerät

Für den mobilen Einsatz sind auch deutlich kürzere, für den Einsatz an Schreibtischarbeitsplätzen auch längere Zeilen verfügbar. Dabei ermöglichen es die meisten Geräte, immer nur eine einzige Textzeile darzustellen. Dadurch – aber nicht ausschließlich – ergibt sich die Notwendigkeit, die darzustellenden Informationen zu linearisieren und damit sequentiell abrufbar bereitzustellen. Gerade die geeignete Linearisierung von Inhalten, Darstellungen oder ganzen interaktiven Benutzungsoberflächen, stellt eine der großen Herausforderungen für Screenreader dar.

Klassisch werden Anwendungen am Computer mit der Standard-(QWERTZ-)Tastatur bedient. Eine Computermouse, die Zeige- oder Manipulationshandlungen ermöglicht, ist durch ihre oftmals zwingende visuelle Rückmeldung nur bedingt und indirekt durch blinde Menschen einsetzbar. Mauseingaben können aber durch den Einsatz assistiver Technologie simuliert werden. So bieten beispielsweise einige Braillezeilen die Möglichkeit, mittels oberhalb der Braille-Zeichen angebrachten Tastern den Mauscursor an die Position der dargestellten Glyphen zu setzen. Über solch ein *Routing* [BA91] lassen sich auch komplexere Sequenzen von Hardwareeingaben virtuell simulieren. Somit können blinde Menschen effizient zwischen dem Lesen auf der Braillezeile und (ortsgebundenen) Eingaben wechseln [Web89b].

Computer-  
bedienung durch  
Tastatur

Neben haptischer oder taktiler Rückmeldung steht noch der auditive Kanal zur Verfügung. Daten und Informationen können als Töne und Tonfolgen sowie als Texte in Form natürlicher oder synthetisierter Sprache ausgegeben werden. Vergleicht man jedoch verschiedene Möglichkeiten der auditiven Vermittlung von Informationen (natürliche oder synthetischen Ton-Samples sowie Sprache), so stellt die Sprachausgabe eindeutig die Modalität mit der höchsten Akzeptanz und Fehlerfreiheit dar [Bre94]. Dem gegenüber steht jedoch, dass kurze prägnante Tonfolgen, die mit einer bestimmten Aussage vorbelegt wurden (sogenannte *Auditory icons* [Gav89] oder *Earcons* [BSG89]), einen deutlichen Effizienzgewinn bringen können, da sie eine höhere Informationsdichte bereitstellen können als eine entsprechende Sprachausgabesequenz [Bre94].

Audioausgabe

Sprachsynthese – engl. *Text to Speech* (TTS) hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung für sehbehinderte Nutzende gewonnen, und verdrängt damit zunehmend auch Braille [JA18]. Dies liegt unter anderem an der steigenden Güte und Verfügbarkeit von synthetischen Sprachausgaben. Darüber hinaus sind natürlich gesprochene Sprache (ca. 175 Wörter pro Minute (WPM)) oder synthetische Sprachausgaben mit erhöhter Sprachgeschwindigkeit (bis zu 500 WPM) deutlich effizienter und weniger anstrengend als das Lesen von Braille (ca. 90 – 160 WPM) [Fou+62; GG15; Wor96].

Sprachausgabe

In ihren Präferenzen für Sprachausgaben unterscheiden Nutzende nach dem Einsatzgebiet – vor allem, welche Art und insbesondere welche Stimme, sie bevorzugen [PC16]. Dabei sind in erster Linie die Art der Aufgabe und die Erfahrung mit Sprachausgaben entscheidend. Die meisten Nutzenden entscheiden sich bei Einsatzbereichen zu Unterhaltungszwecken eher für sympathische und natürlich klingende Sprachen. Dies gilt gerade für das Anhören von Büchern und Nachrichten. Auf synthetische Sprachausgaben wird meist nur dann zurückgegriffen, wenn es keinen durch reale Personen gesprochenen Text in Form von (DAISY)Hörbüchern oder Ähnlichem gibt. Dies liegt vor allem daran, dass Nutzende die Qualität von synthetischen Sprachen immer noch nicht als angemessen für solche Anwendungszwecke empfinden.

Anders verhält es sich bei Sprachausgaben, die bei der Bedienung oder Erfüllung einer Aufgabe unterstützen sollen. Hier setzen Nutzende eher auf Stimmen, die gut verständlich sind und das auch bei stark erhöhter Sprechgeschwindigkeit. Hinzu kommt, dass die Synthetisierung der Ausgabe eine geringe Latenz aufweisen soll. Gerade beim Schreiben oder schnellen Navigieren wollen Nutzende im Zuge eines flüssigen und effizienten Arbeitens nicht auf Ausgaben warten müssen. Ein natürlich klingendes Sprachverhalten tritt dabei hinter eine effiziente und effektive Nutzbarkeit zurück.

**Sprechgeschwindigkeit** Ein weiterer Faktor ist die Erfahrung mit Sprachausgaben. Während unerfahrene Nutzende natürlich klingende Sprachausgaben präferieren, steigt mit Gewöhnung und Übung die präferierte Sprechgeschwindigkeit – das heißt, die durch die Sprachsynthetisierung ausgegebenen gesprochenen Wörter pro Minute. Geübte Anwender nutzen Sprachausgaben mit Sprechgeschwindigkeiten von bis zu 500 WPM, was etwa dreimal so schnell ist wie normal [GG15].

Die erhöhte Sprechgeschwindigkeit zielt dabei oftmals nicht auf das genaue Verstehen, sondern hauptsächlich auf Effizienz. Auch in persönlichen Gesprächen berichteten blinde Menschen, dass es hauptsächlich um die (erste) Klangfolge der Sprache geht und diese, zum Beispiel im Zuge einer Suche, wiederzuerkennen. Dies ist etwa mit dem visuellen Konzept von Icons zu vergleichen. Für ein konkretes Verstehen dessen, was gesagt wurde, wird dann auf die Ausgabe einer Braillezeile zurückgegriffen oder die Sprachausgabe mit gesteigerter Aufmerksamkeit wiederholt abgespielt.

**Pixel- und Grafik-Barriere** Der Umgang mit digitalen Medien bietet neben großen Chancen auch eine Reihe von Barrieren für Nutzende mit Einschränkungen. Im Fall von sehbehinderten Menschen sind in erster Linie die Pixel- und die Grafik-Barriere große Hürden beim Umgang mit dem Computer und dem Konsum von Medien. Die Pixel-Barriere beschreibt den Fakt, dass Informationen auf dem Computerbildschirm als final gerendertes Bild in Form von farbigen Bildpunkten (Pixeln) bereitgestellt werden. Diese Art der rein visuellen Darstellung ist für Menschen, die diesen Informationskanal nicht nutzen können, unbrauchbar. Nur eine Rückführung der präsentierten Informationen in ihren Ausgangszustand kann eine Überführung auf ein anderes Medium, wie Audio oder Braille-Text, ermöglichen. Ist dieser Weg nicht möglich, bleiben die dargestellten Informationen unzugänglich. Ähnlich verhält es sich mit der Grafik-Barriere. Diese beschreibt den Umstand, dass bildliche Inhalte – seien es Fotos, Grafiken oder jegliche andere Art von visuellen Informationen – erst in ein anderes Medium überführt werden müssen, um sie dann in einer alternativen Weise zugänglich zu machen. Für Bilder kann dies beispielsweise durch eine alternative (Text-)Beschreibung erfolgen. Dies geht jedoch meist mit dem Verlust von Informationen einher.

**Multimedia-Barriere** Eine Erweiterung der Grafik-Barriere für multimediale Inhalte wird als Multimedia-Barriere bezeichnet. Die Bereitstellung von verschiedenen Medien, die sich ergänzen oder ersetzen, kann Nutzergruppen einschließen oder auch ausschließen, wenn sie nicht die (technischen) Möglichkeiten haben, diese zu konsumieren. So kann beispielsweise die textuelle Anreicherung (Untertitelung) eines Videos Zuschauer beim Verstehen unterstützen oder gehörlosen

Menschen den auditiven Kanal zugänglich machen. Ist der Text aber nur rein visuell, im Sinne der Pixel- und Grafik-Barriere, in das Video eingebracht, kann ein blinder Nutzender diese Informationen nicht konsumieren. Allgemein bietet der Einsatz von verschiedenen Medien immer das Potenzial eine Nutzergruppe auszuschließen. Nicht immer können technische Hilfsmittel hier Abhilfe schaffen. Oft bleibt es nur dem Autor überlassen, adäquate Alternativen bereitzustellen.

Der Wechsel zu grafischen Benutzungsschnittstellen brachte zudem ein neues Interaktionsgerät mit sich – die Computer-Maus. Auch diese und die damit einhergehenden Bedienkonzepte, wie *direkte Manipulation* oder *Drag & Drop*, sind für blinde Menschen durch die fehlende Hand-Auge-Koordination nicht effektiv zu bedienen. Setzt eine Anwendung ausschließlich auf den Einsatz solcher Mechanismen ohne eine Alternative durch Tastaturbedienung anzubieten, bleiben diese Funktionen für blinde Nutzende unzugänglich. Dieses Phänomen wird auch als Maus-Barriere bezeichnet.

Maus-Barriere

Mit dem Aufkommen von berührungssensitiven Eingabegeräten (*Touchpads*) und Displays (*Touchscreens*) ergeben sich neue Barrieren, aber auch Chancen in der Bedienung für blinde Nutzende. Diese werden in den folgenden Abschnitten näher betrachtet.

### 2.3.2 Bedienung von Touchscreens

Geräte mit Touch-Bedienung sind beliebt und weit verbreitet. Sie bieten einen direkten und intuitiven Zugang zu Benutzungsoberflächen. Die Interaktionsfläche lässt sich frei aufteilen und es besteht daher kein Bedarf mehr für starre Strukturen und Anordnungen von Steuerelementen. Diese Flexibilität erlaubt die Anpassung der Benutzungsschnittstelle an die Anforderungen der Anwendung, ohne die Hardware verändern zu müssen. Somit kann auch auf spezielle externe Eingabeperipherie (Tastatur oder Nummernblock, etc.) verzichtet werden, da sich diese virtuell simulieren lässt. Die virtuellen Steuerelemente und Interaktionsflächen werden dazu oft nur visuell kenntlich gemacht [Bon+10], was mit einer Verringerung der haptisch wahrnehmbaren Elemente einhergeht [Arr+11]. Dadurch ergeben sich neben möglichen Inkonsistenzen auch Probleme für Nutzende, die die visuelle Gestaltung nicht wahrnehmen können.

Die Bidirektionalität des Tastsinnes (siehe Abschnitt 2.2.1) bietet Chancen in Verbindung mit berührungssensitiven Eingabegeräten. VANDERHEIDEN stellte bereits 1996 mit seiner *Talking Fingertip Technique* [Van96] ein Konzept zur Nutzung von Touchscreens durch blinde Menschen vor, das heute etabliert ist. Das Konzept sieht vor, die Berührungsinformationen vom Berührungssensor mit (darunterliegenden) GUI-Elementen zu verknüpfen und diese dann dem Nutzenden auditiv zu präsentieren. Dazu wird Sprachausgabe genutzt, um Informationen zum Objekt zu verbalisieren. In Kombination mit der kinästhetischen Wahrnehmung bei der Bewegung über den Berührungssensor können gleichzeitig räumliche Strukturen und Anordnungen vermittelt werden. So lässt sich mittels Berührungseingabe ein Zugang zu räumlich strukturierten Informationen schaffen. In Kombination mit weiteren haptischen Reizen lässt sich dieses Konzept zu audio-taktilen beziehungsweise audio-haptischen Systemen erweitern (siehe Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten*).

Zugänglichkeit durch Berührung

Die auditive Erkundung von Benutzeroberflächen auf berührungssensitiven Geräten hat sich durch den ubiquitären Einsatz solcher Geräte – gerade auch im mobilen Bereich – weit verbreitet. Sie ist heute unter dem Namen *Explore-by-Touch* bekannt. Inhalte und Anwendungen auf Mobiltelefonen und Tabletcomputern werden durch diese Technik für blinde Menschen zugänglich gemacht.

Explore-by-Touch

**Midas-Touch Effekt** Gerade bei berührungssensitiven Geräten und Anwendungen, die für sehende Nutzende ausgelegt sind, stellt die angesprochene Bidirektionalität bei der Erkundung mittels Berührung auch ein großes Problem dar. Hier besteht beim Berühren immer die Möglichkeit, (ungewollt) eine Steueraktion eines Interaktionselementes auszulösen. JACOB prägte in diesem Zusammenhang – eigentlich in Verbindung mit Blicksteuerung von Anwendungen – den Begriff des *Midas-Touch Effekt*<sup>4</sup> [Jac91]. Dieser führt unweigerlich dazu, dass eine Nutzergruppe, die Inhalte über Berührungen konsumiert, beispielsweise unter Einsatz des *Explore-by-Touch* Mechanismus, vor unbeabsichtigten Eingaben geschützt werden muss.

Aus diesem Grund lassen sich die Interaktionstechniken für sehende Nutzende nicht direkt auf sehbehinderte Menschen übertragen. Bei den heute gängigen Screenreadern für Geräte mit Touchscreen (*Apple VoiceOver*<sup>5</sup>, *Android TalkBack*<sup>6</sup>, *Microsoft Narrator*<sup>7</sup>, etc.) wird bei der Berührung eines Elements meist dessen Typ, Name und der aktuelle Status wiedergegeben. Das direkte Auslösen einer Interaktion wird also durch den aktivierten Screenreader unterbunden.

**Probleme mit Explore-by-Touch** Neben der freien Erkundung des Bildschirms sollte alternativ ein deterministischer Weg zum Erschließen des Bildschirminhalts angeboten werden. Gerade kleine oder abgelegene Elemente sind schwer bei freier Erkundung zu finden. Dieses Problem potenziert sich mit der Größe des Displays. Ebenso verhält es sich mit Elementen, die noch gar nicht im aktuellen Bildschirmausschnitt zu sehen und damit zu berühren sind, sondern erst nach einer Scrolling-Operation bedienbar werden. Die meisten Screenreader für Touchscreengeräte unterstützen hierzu spezielle Gesten, mit denen alle zugänglichen Elemente seriell und deterministisch durchlaufen werden können.

**Interaktionsmodi** Es ist äußerst schwierig, die Sensordaten richtig zu interpretieren und zwischen einer Erkundungs- oder Interaktionsabsicht zu unterscheiden. Dies ist gerade auch dann der Fall, wenn freie (wie beispielsweise beim Freihandzeichen) oder kontinuierliche (beispielsweise bei direkter Manipulation) Bewegungsmuster zulässig sind. In der Praxis hat sich ein auf verschiedenen Interaktionsmodi basierendes Bedienkonzept etabliert. Der Nutzende gibt selbst an, ob er Erkundungs- oder Interaktionsabsichten hegt. Dieses Konzept bietet einen Kompromiss zwischen Komfort und Fehlertoleranz.

Soll eine Interaktion aus der Berührung heraus erfolgen, so kann diese durch eine entsprechende erweiterte gestische Handlung (doppelt tippen oder einen zweiten Finger hinzunehmen) ausgeführt und durch den Screenreader an die Anwendung weitergereicht werden. Sollen komplexe Gesten zur Anwendungssteuerung eingesetzt werden, wird auf eine vom Standardgestenset abweichende Gestenpalette gesetzt. Beispielsweise wird unter *Android* zu jeder Standardgeste ein weiterer Finger hinzugenommen.

Der Einsatz von Gestensteuerung ist gerade im Umgang mit berührungssensitiven Eingabegeräten ein logischer Schluss. Bei der Bedienung für blinde und sehbehinderte Menschen führt dies jedoch zu weiteren Problemen, welche im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert werden. Eine tiefergehende Auseinandersetzung mit diesem Thema und eine daraus abgeleitete Zusammenfassung von Handlungsempfehlungen zur Gestaltung zugänglicher Anwendungen auf berührungssensitiven Geräten findet sich in [\*Bor+13].

<sup>4</sup> Der in der griechischen Mythologie beschriebene König Midas wünschte sich vom Gott Dionysos, dass alles, was er anfassen würde, zu Gold werden sollte. Als seinem Wunsch entsprochen wurde, freute er sich anfangs sehr, da sich sein Reichtum ins Unermessliche steigern würde. Doch am Ende erkannte er, dass man Gold nicht essen kann.

<sup>5</sup> Apple Accessibility – Url: <https://www.apple.com/accessibility/>

<sup>6</sup> Google Accessibility – Url: <https://www.google.com/accessibility/>

<sup>7</sup> Microsoft Accessibility – Url: <https://www.microsoft.com/en-us/accessibility/>



### 2.3.3 Gesteneingabe blinder Menschen

In erster Linie ist in diesem Abschnitt der Begriff der *Geste* mit einer planaren, also zweidimensionalen, Geste assoziiert. 3D- und Raumgesten werden im Zuge dieser Arbeit erst einmal nicht berücksichtigt. Als Geste ist dabei die zeitliche Abfolge von Berührungsdaten zu verstehen. Die Zusammenfassung einer einzelnen zusammenhängenden kontinuierlichen Bewegung über die Zeit und die räumliche Veränderung wird als *Trajektorie* bezeichnet [Sch14, S. 13]. Trajektorien können als Linie visualisiert werden, wobei dabei oft die zeitliche Komponente nur durch die Angabe von Start- und Endpunkt wiedergegeben wird (vergleiche Abbildung 2.4 und 2.5). Über die Geschwindigkeit, mit der eine so visualisierte Bewegung ausgeführt wurde, wird dabei meist keine Aussage getroffen.

Gestenbegriff

Planare Gesten können, abgesehen von ihrer Intention, grundsätzlich in vier Kategorien unterschieden werden [Sch14, S. 7–15]. Die erste Differenzierung kann auf der Anzahl der zur Ausführung benutzten Finger und Hände getätigt werden. Dazu wird in Gesten, die mit nur einem Finger (*Single-Touch*) und solchen, die mit mehreren Fingern oder Berührungen (*Multi-Touch*) ausgeführt werden, unterschieden. Eine andere Einteilung kann auf der Anzahl der in einer Geste zusammengefassten Bewegungen erfolgen. Dazu unterscheidet man zwischen Gesten, die aus einer einzigen kontinuierlichen Bewegung (*Single-Stroke*) bestehen und solchen, die sich aus mehreren hintereinander ausgeführten Bewegungen (*Multi-Stroke*) zusammensetzen. Bei letzteren muss der Nutzende seine(n) Finger absetzen und wieder neu ansetzen. Die Geste besteht also aus mehreren Teilen. Beide Einteilungen (Single- und Multi-Touch sowie Single- und Multi-Stroke) lassen sich auch frei miteinander kombinieren.

Gestenkategorien

Ortsbasierte gestische Eingaben sind schwierig auszuführen, wenn man den Zielbereich nicht im Vorherein eindeutig identifizieren kann. Wenn man dazu noch den selben Bereich mehrfach hintereinander treffen muss, steigt der Schwierigkeitsgrad abermals. Solche Interaktionen, wie bei einer Tap- oder Doppel-Tap-Geste, sind für Nutzende, die den visuell markierten Zielbereich auf einem homogenen Bildschirm nicht identifizieren können, annähernd unmöglich auszuführen.

ortsbasierte Gesten

Die Ausführung von und Präferenz für planare Gesten unterscheidet sich stark zwischen sehenden und blinden Menschen. Blinde Menschen führen Gesten oft langsamer und ausschweifender aus als sehende Menschen. Darüber hinaus weisen die Gesten eine hohe Varianz in der Ausführung auf (vergleiche Abbildung 2.4). Schwierigkeiten bestehen zudem in der Ausführung von geradlinigen Gesten [Buz+15b] oder stark figuralen<sup>8</sup> und symbolischen<sup>9</sup> Gesten [Gou+07; KWL11; LG15]. Bei Letzteren bestehen zwei Hauptprobleme: (1) bei Richtungswechseln werden die Winkel nicht korrekt eingeschätzt (siehe Abbildung 2.4) und (2)

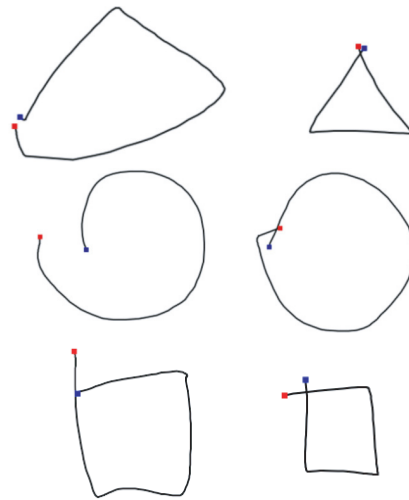
Unterschied Gestenausführung sehender und blinder Menschen

<sup>8</sup> angelehnt an einfache oder komplexe Formen, wie Kreise, Rechtecke, Pfeile, etc.

<sup>9</sup> angelehnt an Symbole, wie beispielsweise Buchstaben oder Zahlen, etc.



**Abbildung 2.4:** Vergleich der Ausführungen einer Geste nach Art der Sehbeeinträchtigung – von links nach rechts: schwere Sehbehinderung, späterblindet, erblindet in der Pubertät, geburtsblind, Durchschnitt über alle Gruppen – nach [Buz+15b, S. 7]

**Abbildung 2.5:**

Ausführung verschiedener geschlossener Gesten durch blinde (links) und sehende Personen (rechts) nach [KWL11].

Startpunkt ist blau, Endpunkt ist rot. Man beachte auch die Unterschiede in der Ausführung und Richtung der Gesten *Dreieck* und *Rechteck*.

bei geschlossenen Formen liegen der Ausgangs- und Endpunkt der Geste oft weit auseinander (siehe Abbildung 2.5). Mit solch nicht ganz exakt ausgeführten Gesten haben Gestenerkennung oft Schwierigkeiten in der Erkennung und korrekten Klassifizierung [Gou+07]. Bessere Klassifizierungsergebnisse erzielen Gestenerkennung, die mit den verzerrten Ausführungen blinder Nutzender trainiert wurden [KWL11].

Obwohl blinde Nutzende angaben, mit einigen symbolischen Gesten nicht wirklich vertraut zu sein [KWL11], werden symbolische Gesten insgesamt deutlich schneller ausgeführt als Gesten, die einer konkreten Form entspringen [LG15]. Des Weiteren bewerten blinde und auch sehende Menschen Gesten als schwierig, wenn sie aus vielen Berührungen bestehen, das Anheben und wieder Aufsetzen aller involvierten Finger bedingen oder ein Drehen der Hand erfordern [Buz+15b; RVG14].

#### Gesten von blinden Menschen

In einem Experiment ließen KANE, WOBROCK und LADNER sehbehinderte Menschen selbst entscheiden, welche Gesten sie für welche Funktion wählen würden [KWL11]. Dabei entschieden sie sich für simple Gesten aus wenigen, aber teils aneinandergereihten Strichen. Diese orientierten sich oft an externen Referenzen, wie dem (Geräte-)Rand oder den Ecken. Zudem wurde der Einsatz von (virtuellen) Modifizierungstasten vorgeschlagen. Das heißt, eine Geste wird durch zusätzliches Platzieren eines weiteren Fingers – als Referenz oder einfach nur zur leichteren Abwandlung – zu einer neuen Geste mit anderer Funktion erweitert. Darüber hinaus wurden Gesten vorgeschlagen, die sich an Handlungen auf einer Standard-(QWERTZ-)Tastatur orientieren. Beispielsweise wurden für die Funktion **Abbrechen** Gesten im oberen linken Eck des Gerätes verortet, weil sich dort auch die **ESC**-Taste befindet.

#### Gesten lernen

Im Zuge der Gesteninteraktion stellt sich auch die Frage, wie diese erlernt werden können. In erster Linie ist ein grundlegendes Wissen über die verfügbaren Gesten und die damit verbundenen Aktionen notwendig. Während sich für eine GUI verfügbare Aktionen oft intuitiv visuell durch den Einsatz bekannter Steuerelemente zu erkennen geben, werden verfügbare Gesteninteraktionen<sup>10</sup> nicht direkt offensichtlich. Nach SCHMIDT und WEBER müssen Gesten nicht unbedingt intuitiv, aber auf jeden Fall erlernbar sein [SW09]. Leider sind derzeit die gängigen Gestensets und die damit verbundenen Aktionen immer noch über Geräte-, Betriebssystem- oder Anwendungsgrenzen hinweg inkonsistent [KWL11].

Für sehende Nutzende können Visualisierungen in Form von Bildern oder Videos zum Erlernen von Gesten herangezogen werden. Blinde und sehbehinderte Nutzende können nicht einfach

<sup>10</sup> neben den naiven Klick-Gesten (Tap)

auf solche Hilfen zum selbständigen Erlernen von Gesten zurückgreifen. Sie sind entweder auf eine ausreichend präzise und aussagekräftige Verbalisierung der Gesten [Oh+15; SW09] oder auf eine zweite Person angewiesen, die ihnen die Gesten lehrt. Für komplexe Gesten werden in diesem Zusammenhang Parallelen zum Erlernen von Handschrift deutlich [CB08]. Zum eigenständigen Erlernen von Gesten existieren neben klassischen verbalisierenden und kontrollierenden Ansätzen<sup>11</sup> sowie Schablonen [Buz+15b] auch Ideen zur Sonifikation [Oh+15] sowie zum Einsatz von haptischen Krafrückmeldern [CB08] oder taktilen Displays [SW09].

Im Gegensatz zu visuellen Displays, bei denen oftmals nur mit einem Finger über *Explore-by-Touch* erkundet wird, sind bei Displays mit taktiler Rückmeldung auch Lesebewegungen mit beiden Händen und damit mehreren Fingern gleichzeitig möglich. Die Anzahl der Berührungspunkte an sich ist damit als Entscheidungsgrundlage zur Unterscheidung von Lese- und Interaktionsbewegungen ungeeignet. Ebenso verhält es sich beim Einsatz haptischer Krafrückmelder, die nur über einen einzigen Punkt haptische Rückmeldungen geben und Interaktionen übertragen können (vergleiche Abschnitt 3.2.2 – *Dynamische Medien*) [Gou+07].

Gesteninteraktion  
auf taktilen oder  
haptischen  
Displays

Es muss also ein realer und harter Wechsel zwischen den Modi geschehen, beispielsweise durch Drücken oder Halten einer Taste [Gou+07; SKW10]. Beim Halten einer klassischen Taste wird die Interaktion oft aus ergonomischen Gründen bimanual. Das heißt, während die eine Hand die Geste ausführt, muss die andere Hand den Schalter betätigen. Dies schließt zweihändige Gesten aus, sollten diese technisch überhaupt möglich sein. Des Weiteren werden Personen, die nicht beide Hände gleichzeitig benutzen können, eventuell ausgeschlossen.

Aus eigenen Erfahrungen heraus wurde deutlich, dass blinde Menschen am liebsten auf das Wechseln in einen separaten Gestenmodus verzichten würden. Der Arbeitsfluss wird dadurch gestört. Das Problem des *Midas-Touch Effekts* ist den Nutzern dabei allerdings nicht präsent. Beim automatischen Identifizieren einer Handlungsabsicht innerhalb eines kontinuierlichen Sensordatenflusses, könnte theoretisch auf Prozesse der (Audio-)Signalverarbeitung zurückgegriffen werden [YNL17]. So werden in kontinuierlichen Audiosignalen Startworte (Fingerprints) zur nachfolgenden Sprachinteraktion identifiziert. Diese Startworte sind oftmals so gewählt, dass sie in einer normalen Unterhaltung möglichst nicht vorkommen. Für die Berührungsinteraktion müsste man ein ähnliches Verfahren anwenden. Wie allerdings eine Sequenz von Berührungsdaten aussieht, die robust aus einem kontinuierlichen Datenstrom zu erkennen ist und dabei nicht in möglichen Lesebewegungen auftaucht, ist eine offene und noch nicht zu beantwortende Frage.

Gestenerkennung  
ohne  
Moduswechsel?

## 2.4 Screenreader und Off-Screen-Model

Screenreader sind Programme, die es Menschen mit Einschränkungen ermöglichen, grafische Benutzungsoberflächen zu erkunden und zu bedienen. Dazu wird versucht, die visuellen Komponenten einer Benutzungsschnittstelle durch andere Medien, wie Text und Audio zu substituieren. Hilfsmittel, wie Screenreader, werden zumeist von Menschen mit temporärer oder dauerhafter Beeinträchtigung des Sehens oder mit Leseschwäche benutzt.

In Zeiten der Terminals – also der Nutzung von Computern mittels Kommandozeileninterface – bestand die Ausgabe auf dem Bildschirm oft nur aus Textzeichen und Zahlen sowie einigen Sonderzeichen. Screenreader konnten entweder das Monitorsignal abfangen und dieses

<sup>11</sup> *VO Lab App* – Url: <https://apps.apple.com/us/app/vo-lab/id1227307699> – zuletzt besucht Sep. 2019

*Blindfold Bop Game* – Url: <https://apps.apple.com/us/app/blindfold-bop-game/id1272873004> – zuletzt besucht Sep. 2019

interpretieren oder sie griffen den Speicherbereich der visuellen Ausgabe ab und lasen die an den Monitor zu sendenden Zeichen direkt aus, um sie dann für blinde Menschen nutzbar zu machen [Koc94]. Kommandozeilen waren somit annähernd gleichwertig für sehende und blinde Menschen verwendbar [EMS95; KL00]. Mit dem Aufkommen von grafischen Benutzungsschnittstellen wurde die Bedienung von Computern für sehende Menschen leichter und intuitiver, da nun auch Laien einen deutlich einfacheren Zugang zu den Potenzialen eines Computers fanden. Für Menschen, die ein visuell geprägtes Interface nicht nutzen können, brachte dies allerdings große Probleme [EMS95] – die Pixel- und Grafik-Barriere sowie die Interaktion mittels Computer-Maus (vergleiche Abschnitt 2.3.1).

**Screenreader-Ausgaben** Screenreader-Ausgaben erfolgen üblicherweise in textueller oder auditiver Form. Für die textuelle Ausgabe in Braille werden meist einzeilige Braillezeilen unterschiedlichster Längen verwendet. Einige Screenreader erlauben neben der direkten Ausgabe in Basisschrift eine Kürzung der Ausgabe durch Anwendung eines Kürzungsgrades (vergleiche hierzu Abschnitt 3.1 – *Brailleschrift in Bildern*). Zur auditiven Ausgabe wird neben Tönen auf Sprachsynthese von Textinhalten gesetzt. Die meisten Screenreader erlauben es, die verwendete Stimme sowie Parameter, wie Sprechgeschwindigkeit und Ähnliches, an die eigenen Bedürfnisse anzupassen.

**Nutzung** Nach einer aktuellen Umfrage der *Utha State University* [oWeb19] sind die derzeit beliebtesten Screenreader für Desktop-PCs *NVDA*<sup>12</sup> (ca. 41 %) und *JAWS*<sup>13</sup> (ca. 40 %) für *MS Windows* sowie *VoiceOver*<sup>14</sup> (ca. 13 %) für *Apple macOS*. Für *Linux* Betriebssysteme ist der Screenreader *Orca*<sup>15</sup> sehr beliebt. Allgemein setzt immer noch eine große Mehrheit der befragten sehbehinderten Nutzenden auf das Betriebssystem *MS Windows* (ca. 71 %). Bei den Mobilgeräten hat *Apple* mit seinen Geräten und dem Screenreader *VoiceOver*<sup>16</sup> mit 69 % einen deutlichen Vorsprung vor *Android* Geräten mit *TalkBack*<sup>17</sup> mit nur 28 %. Bei den genutzten Ausgabeformen von Screenreadern nutzt ein Großteil (ca. 71 %) ausschließlich die auditive Ausgabe. Nur knapp 4 % setzen hauptsächlich auf Braille.

**Informationsquellen für Screenreader** Um visuelle Informationen über Interaktions-, Gestaltungs- oder Inhaltselemente an Nutzende mittels alternativem Medium auszugeben, müssen diese erst einmal durch den Screenreader gesammelt werden. Daraufhin können die Informationen ausgewertet, aufbereitet und interpretiert werden, um sie anschließend oder bei Bedarf Nutzenden zur Verfügung zu stellen. Ziel ist es, möglichst umfassende und vollständige Informationen über die dargestellten Inhalte auf dem Bildschirm, den internen Status der Anwendung beziehungsweise des Betriebssystems und deren Komponenten, sowie die Nutzerinteraktionen zu erlangen [BE00].

Um Informationen über GUI-Elemente zu erlangen, werden nach WEBER meist drei grundlegende Strategien angewendet [Web04]:

**Bottom-Up:** Die dargestellten Bildschirminhalte werden durch Mustererkennung, wie beispielsweise Texterkennung – engl. *Optical Character Recognition* (OCR), interpretiert.

**Top-Down:** Es wird versucht, direkt auf die Quelldaten oder ein mögliches Zwischenformat der Darstellung zurückzugreifen und dort möglichst viele Informationen abzugreifen. Dies ist beispielsweise bei HTML der Fall.

<sup>12</sup> NV Access Webseite – Url: <https://www.nvaccess.org/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>13</sup> Freedom Scientific JAWS für Windows – Url: <http://www.freedomsci.de/prod01.htm> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>14</sup> VoiceOver, Benutzerhandbuch für macOS Catalina – Url: <https://help.apple.com/voiceover/mac/10.15/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>15</sup> GNOME - Projects/Orca – Url: <https://wiki.gnome.org/Projects/Orca> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>16</sup> Apple / Accessibility / iPhone – Url: <https://www.apple.com/accessibility/iphone/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>17</sup> Bedienungshilfen für Android – Url: <https://support.google.com/accessibility/android/> – zuletzt besucht Okt. 2019

**Middle-Out:** Es werden Informationen über die Objekte einer Benutzeroberfläche durch spezielle Schnittstellen angeboten. Der Screenreader hat somit Zugriff auf die bereits interpretierten Quelldaten des Programms. Darüber hinaus können auch aktuelle oder veränderte Anzeigen abgegriffen sowie der Status von Objekten und Nutzerinteraktionen verfolgt werden.

Da ein einziger Ansatz nicht für alle möglichen Anwendungstypen und Nutzeroberflächen ausreichend ist, kombinieren die meisten Screenreader mehrere Ansätze, um möglichst viele Informationsquellen zur Verfügung zu haben. Gerade der Zugriff auf die Quelldaten lässt oft nur wenig Rückschlüsse auf Nutzerinteraktionen, wie das aktuell fokussierte Element oder dynamisch veränderte Werte und Anzeigen, zu. Der *Bottom-Up* Ansatz war in den Anfängen der Screenreader sehr effektiv, als die Kommandozeilenschnittstellen mittels Durchschleifen der Bildschirmsignale zugänglich gemacht werden sollten [Koc94]. Heute wird dieses Verfahren, wenn überhaupt, nur noch in Härtefällen, wie bei Text in Bildern oder Speziallösungen für individuelle Arbeitsplätze, eingesetzt.

Der *Middle-Out* Ansatz, also der Zugriff auf durch Programme bereitgestellte Schnittstellen, hat sich heutzutage etabliert und wird von Softwareherstellern im Rahmen der Bereitstellung barrierefreier Softwarelösungen sogar eingefordert. Einst waren diese Schnittstellen ausschließlich zur Automatisierung von Abläufen und Ähnlichem angedacht. Die Schnittstellen informieren oft auch aktiv durch Nachrichten (sogenannte *Events*), ob und welche Änderungen sich am Programm oder an Objektzuständen vollzogen haben. Die möglichen Schnittstellen können in vier verschiedene Arten unterteilt werden:

**Zugriff über Basisfunktionen des Betriebssystems:** Dazu werden Funktionen des Betriebssystems genutzt, um entweder die Anwendung durch Simulation von Nutzerinteraktionen zu steuern (z. B. Hardware-Injection) oder auf Informationen der durch die Anwendung genutzten betriebssystemeigenen Dienste zurückzugreifen.

**Zugriff über standardisierte Schnittstellen:** Es haben sich einige Standards bezüglich solcher Zugänglichkeits- beziehungsweise Automatisierungsschnittstellen etabliert. Dazu zählen unter anderem die UI Automation (UIA) Schnittstelle<sup>18</sup> für *Microsoft .Net Windows* Anwendungen<sup>19</sup>, die *Java Accessibility API* (JAAPI)<sup>20</sup> für *Java*-Anwendungen<sup>21</sup> oder das *Accessibility Toolkit* (ATK)<sup>22</sup> für *Linux*.

**Proprietäre Zugänglichkeitsschnittstellen:** Einige Anwendungsentwickler setzen gerade bei der Distribution für mehrere verschiedene Betriebssysteme auf die Installation einer eigenen offenen Zugänglichkeitsschnittstelle. Screenreader, die diese Programme bedienen wollen, müssen dann diese Schnittstellen kennen und nutzen.

**Schnittstellen zur Programmautomatisierung und DOM-Zugriff:** Einige Programme bieten (proprietäre) Möglichkeiten zur Automatisierung von Abläufen oder zur automatisierten Erzeugung und Änderung von Dokumenteninhalten. Dafür können einerseits Makros, also programminterne Skripte, eingesetzt werden. Andererseits können externe

---

<sup>18</sup> UI Automation Overview – Url: <https://docs.microsoft.com/dotnet/framework/ui-automation/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>19</sup> Nachfolger der Microsoft Active Accessibility (MSAA) Schnittstelle

<sup>20</sup> Java Accessibility Guide – Url: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/access/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<sup>21</sup> Nachfolger der Java Access Bridge

<sup>22</sup> ATK - Accessibility Toolkit – Url: <https://developer.gnome.org/atk/> – zuletzt besucht Okt. 2019

Programme eine offengelegte Anwendungsprogrammierschnittstelle – engl. *Application Programming Interface* (API) nutzen. Dazu wird diesen Programmen neben dem Zugang zu internen Programmfunktionen oft auch Zugriff auf das derzeit in der Bearbeitung befindliche Dokument, beziehungsweise dessen interpretierte interne Datenstruktur gewährt. Diese meist hierarchisch organisierte Daten-(Objekt-)Struktur wird als *Document Object Model* (DOM) bezeichnet. Neben der Erzeugung und Manipulation dieser Dokumentenelemente, können auch Informationen über den aktuellen Zustand bereits existierender Elemente bezogen werden.

**Interaktion mit dem Screenreader** Nach GRAZIANI und BRUNO lassen sich für die Interaktion mit einem Screenreader zwei grundsätzliche Intentionen und damit Modi unterscheiden [GB94]: *Tracking* (Überwachen / Verfolgen) und *Review* (Betrachten / Untersuchen). In einer Tracking-Phase überwacht der Screenreader ausschließlich die Veränderungen am Programm, zum Beispiel nach Nutzereingaben. Dazu gibt er, möglichst in Echtzeit, Rückmeldung über das fokussierte Element oder die aktuelle Position der Eingabemarke (Cursor). In einer Review-Phase erkundet der Nutzende frei und unabhängig vom tatsächlichen Programm den Bildschirminhalt. Es werden somit keine Eingaben an das Programm übermittelt.

In einer Review Phase sollen nach GRAZIANI und BRUNO hauptsächlich vier Nutzerintentionen befriedigt werden: (1) Navigieren innerhalb einer Anwendung oder eines Dokumentes, (2) das (detaillierte) Lesen von Text, (3) das Suchen nach und Abrufen von Informationen sowie (4) das Einstellen von Parametern des Screenreaders zur besseren Adaption an das Programm.

Zum freien Erkunden einer Benutzeroberfläche oder eines Dokumentes setzen Screenreader auf einen zusätzlichen internen Zeiger. Ein spezieller Fokus (z. B. *Accessibility Focus* unter *TalkBack*, *VoiceOver Cursor* unter *iOS*) wird mitgeführt, der auch eigentlich nicht fokussierbare Inhalte anwählen kann. Diese werden dann an den Nutzenden ausgegeben, ohne den tatsächlichen Anwendungsfokus zu verändern.

Neben der Reaktion auf Nutzereingaben können Screenreader auch selbst Eingaben an Anwendungen übertragen. Um Nutzerinteraktionen zu registrieren und diese eventuell zu verändern oder selbst zu nutzen, setzen Screenreader auf sogenannte *Hooks* [BE00]. Dazu werden die Hardwareeingaben der Tastatur und Maus abgefangen, interpretiert und bewertet. Anschließend entscheidet der Screenreader, ob er das Kommando selbst verarbeitet, es direkt weiterleitet oder anpasst und danach an andere Anwendungen weiterleitet. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, selbst komplexe Hardwareinteraktionen virtuell zu simulieren. So kann beispielsweise durch den Screenreader ein Tastaturkommando eingebracht werden oder die Nutzung des Mauscursors emuliert werden. Durch solche Mechanismen lässt sich beispielsweise das Routing – also das zeichengenaue Interagieren mit der Eingabemarke über die Braillezeile – realisieren oder im Notfall eine Maus-Barriere (siehe Abschnitt 2.3.1 – *Computerbedienung blinder Menschen*) überwinden.

**Off-Screen Model** Die zu einer Anwendung gesammelten Informationen werden meist in einer eigenen internen Datenstruktur zwischengespeichert [BE00]. Dieses ebenfalls meist hierarchisch organisierte Datenmodell wird als *Off-Screen Model* (OSM) bezeichnet [Koc94]. Ein Screenreader kann über dieses Modell suchen oder Vergleiche anstellen. So lassen sich beispielsweise Listen von Elementen, wie Links, Formularelemente und Ähnliches, anzeigen oder die (Navigations-)Struktur eines Dokumentes abrufen. Darüber hinaus können aktuelle und abgelegte Elementzustände auf Veränderungen geprüft werden.

Auf einem OSM müssen neben den klassischen Aktionen, wie dem Hinzufügen, Entfernen und Umsetzen eines Knotens, auch Aktionen zum Durchsuchen und Anpassen der Knoten möglich sein [Koc94]. Das OSM valide und aktuell zu halten, stellt eine der großen Herausforderungen für Screenreader dar [K VW08; \*Pre+18].

Ein OSM ist vor allem in den Review-Phasen notwendig. In den Tracking-Phasen könnte theoretisch auf ein komplexes und vollständiges Modell der Anwendung verzichtet werden, was deutliche Vorteile für die Ressourcennutzung und die Reaktionszeiten von Anwendung und Screenreader hat. So können zum Beispiel bereits Tracking-Aufgaben durch den Nutzenden zugelassen werden, während das vollständige OSM einer Anwendung noch erzeugt wird.

## 2.5 Rechnergestützte Kollaboration zwischen sehenden und blinden Menschen

Kollaboration, also das gemeinsame (verteilte) Arbeiten an einer Aufgabe, ist eine häufig eingesetzte Methode, um Kompetenzen zu bündeln. Im Unterschied zur Kooperation, bei der jeder Beteiligte eigenständig an seiner (Teil-)Aufgabe arbeiten kann, zielt die Kollaboration auf die direkte Diskussion und Interaktion zwischen den Teilnehmenden [Koz10]. Digitale Werkzeuge, wie (webgestützte) Groupware-Systeme oder andere lokale Anwendungen für Kreativ- oder Konstruktionsprozesse, wollen hier unterstützen. Es ist nur logisch, dass in solchen kollaborativen Prozessen auch Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Einschränkungen aufeinandertreffen.

Im Folgenden soll ein Überblick über Kollaboration zwischen sehenden und blinden Menschen gegeben werden. Daraus lassen sich anschließend Hilfestellungen beziehungsweise Anforderungen für die Gestaltung kollaborativer Systeme ableiten.

### 2.5.1 Kollaboration und kollaborative Systeme

Kollaboration kann auch als Hilfsmittel zur Kompensation und Überwindung von Einschränkungen oder Unzulänglichkeiten angesehen werden. EDWARDS et al. fordern beispielsweise, dass schon beim Design von Screenreadern oder ähnlichen assistiven Technologien die Kollaboration mit einem sehenden Menschen berücksichtigt werden muss [EMS95]. Dies begründet sich darin, dass blinde Menschen meist nicht alleine und isoliert arbeiten, sondern mit anderen (auch sehenden) Menschen zusammen. Somit sollte ihre Schnittstelle und das daraus gewonnene mentale Modell einer Anwendung mit denen sehender Nutzender vereinbar sein. Der Screenreader *Jaws* beispielsweise erlaubt neben speziellen Visualisierungen seiner Sprach- und Braille-Ausgaben auch den Remotezugriff<sup>23</sup> eines Trainers auf den Screenreader eines Nutzenden, um diesen im Umgang mit der assistiven Technologie oder der damit zu steuernden Anwendung unterstützen zu können. Dabei macht es keinen Unterschied ob der Lehrende, der Trainierende oder gar beide blind oder sehend sind.

Auch andere Systeme setzen auf den Kooperations- beziehungsweise Kollaborationsgedanken zwischen sehenden und sehbehinderten Menschen. Die Motivation für den Einsatz von kooperativen Möglichkeiten liegt neben spielerischen Einsätzen [SBH04] oft in zwei Hauptbereichen: Training und Schulung [Bal+13; KW04; Köh16; MP13; Mur+10; NF06; Pli+11; RME07; SMS07; Tan+08; Wat+06] sowie Inklusion in (Entwicklungs-)Prozessen [Arc+07; Fuj+14; MB06; Pöl+16; SCS16; YKB03].

Im Lernkontext setzen Systeme meist auf die Interaktion zwischen zwei Personen, wobei oftmals die sehbehinderte Person die Rolle des Lernenden einnimmt. Projekte wie *MICOLE* [MP13] (siehe Abbildung 2.6 a), *McSig* [Pli+11], *AHEAD* [RME07] oder *HIPP* [Ras+14] nutzen dabei

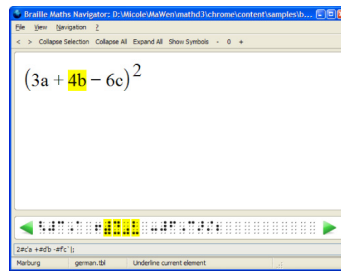


kollaborative  
Systeme

<sup>23</sup> <https://support.freedomscientific.com/JawsHQ/JawsTandemQuickStart> – zuletzt besucht Aug. 2019



a) MICOLE System zur Erkundung von 3D-Formen mit zwei Kraftrückmeldern durch ein sehbehindertes und zwei sehende Kinder [MP13]



b) Mawen GUI zur Kollaboration auf mathematischen Formeln [Arc+07] (Bildquelle [oAF08, S. 28])



c) Zugängliches Tabletop-System zur kollaborativen Arbeit auf Mind-Maps [Pöl+16]

**Abbildung 2.6:** Beispiele für Systeme zur Kollaboration zwischen sehenden und sehbehinderten Teilnehmenden

oft Force-Feedback (FF)-Geräte, die zum nicht-visuellen Erkunden, aber auch zum Eingreifen durch eine sehende Person ausgelegt sind. KÖHLMANN untersuchte die Bereitstellung eines alternativen audio-taktilen Zugangs zu virtuellen web-gestützten Lernräumen [Köh16, S. 260–273] und konnte beweisen, dass blinde Menschen den Aktionen von anderen Teilnehmenden folgen und an Diskussionen und anderen Prozessen aktiv teilnehmen können [Köh16, S. 285 ff.].

Das Projekt *Mawen* erlaubt indes tatsächlich das gemeinsame gleichberechtigte Arbeiten auf mathematischen Formeln. Dazu wird eine visuelle Darstellung der Formel mit einer Braille-Repräsentation, bis hin zur Position der verschiedenen Eingabemarken, synchronisiert [Arc+07] (siehe Abbildung 2.6 b). Um blinde Menschen in Produktionsprozesse einzubinden, setzt das *BPLOT3* System beispielsweise auf eine sehende Person zur Kontrolle der Eingaben eines blinden Menschen [Fuj+14].

PÖLZER et al. integrieren blinde Teilnehmende in tabletopgestützte Kreativprozesse und machen hierzu sogar die teils deiktischen Gesten der Teilnehmenden über dem Tabletop für blinde Menschen zugänglich [Pöl+16] (siehe Abbildung 2.6 c). Die Anzeige von Handbewegungen anderer Gruppenmitglieder (*remote gestures*) steigert die Effizienz einer Gruppe und unterstützt bei der Bildung einer gemeinsamen Referenz [KRF07].

Repräsentation  
und  
Synchronisation

Ziel eines integrativen kollaborativen Systems muss es also sein, die Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren zu ermöglichen und zu fördern. WINBERG und BOWERS betonen in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit einer gemeinsam geteilten Repräsentation zwischen einer sehenden und einer sehbehinderten Person [WB04]. EDWARDS, MYNATT und STOCKTON meinen zudem, dass eine ausreichende Tiefe der Kommunikation – und damit Kollaboration – nur möglich ist, wenn sich die mentalen Modelle der einzelnen Teilnehmenden gleichen [EMS95].

MYNATT und WEBER verweisen darauf, dass eine uneingeschränkte Inklusion von und Kooperation mit einem sehbehinderten Gegenüber nur durch den Einsatz kohärenter visueller und nicht-visueller Schnittstellen möglich ist [MW94]. Dabei ist eben auch die Äquivalenz der bereitgestellten Informationsrepräsentationen zu berücksichtigen. LARKIN und SIMON unterscheiden generell zwischen zwei verschiedenen Arten der Äquivalenz [Sim78; LS87]:

**Informativ (*informational*):** Zwei Repräsentationen sind informativ gleich, wenn alle Informationen der einen auch aus der anderen entnommen werden können und umgekehrt. Daraus folgt auch, dass die eine Repräsentation aus der anderen erzeugt werden kann.

**Rechnergestützt (*computational*):** Zwei Repräsentationen sind rechnergestützt gleich, wenn sie informell gleich sind und sich zusätzlich ein Interface, das sich auf die eine Repräsentation anwenden lässt, in gleichem Maße auch auf die andere anwenden lässt.



Zur effizienten Kollaboration zwischen sehenden und sehbehinderten Menschen ist somit die Konsistenz der beiden Benutzungsschnittstellen durch Synchronisierung sicherzustellen. Die Synchronisation zwischen zwei Schnittstellen oder Nutzern mit denselben Fähigkeiten und Eigenschaft ist relativ einfach. Die Synchronisierung zweier Schnittstellen mit wesentlichen Unterschieden, zum Beispiel in der Bandbreite und den Möglichkeiten zur Informationsaufnahme oder Interaktion, ist deutlich schwieriger. Multimedialität und Multimodalität sind Möglichkeiten dieses Problem anzugehen und somit bei der Synchronisierung mit zu berücksichtigen.

Generell bleibt festzuhalten, dass nicht nur die Zusammensetzung der Gruppe, sondern auch das von allen Gruppenmitgliedern genutzte Werkzeug eine zentrale Rolle für den Erfolg einer kollaborativen Arbeit spielt. Der große Unterschied in den Möglichkeiten und der Geschwindigkeit der Informationsaufnahme zwischen sehenden und blinden Menschen (vergleiche Abschnitt 2.1) lässt sich jedoch nicht nur durch eine entsprechende Anpassung der Benutzungsschnittstellen ausgleichen. Unterschiedliche Darstellungen – mögen diese auch dieselben Informationen bereitstellen – können doch zu einer deutlichen Diskrepanz in Zeit und Aufwand für deren Erschließung führen [Loh97]. Bei der alternativen Gestaltung von Informationsschnittstellen ist sicherzustellen, dass sie zur Lösung des Problems geeignet sind und sowohl der Gruppe als auch dem einzelnen Teilnehmenden einen Mehrwert bieten [Win06]. Dies kann auch bedeuten, dass eine blinde Person dadurch überhaupt erst in die Lage versetzt wird, aktiv am Geschehen teilzunehmen und ihre Fähigkeiten einzubringen.

Sind die verschiedenen Schnittstellen unzureichend gestaltet, sodass zum Beispiel Änderungen am Kontext oder Gegenstand der Kollaboration einem (blinden) Teilnehmenden nicht kenntlich werden, kann dieser damit im schlimmsten Fall ganz vom kollaborativen Prozess ausgeschlossen werden [SMS07]. Das kann auch der Fall sein, wenn nicht genügend Geräte zur Interaktion bereitgestellt werden. Müssen sich mehrere Nutzende eine Schnittstelle teilen, aber können diese nicht parallel als Ausgabemedium nutzen (z. B. haptisches Gerät gegenüber auditiver oder visueller Ausgabe), dann können Teilnehmende zeitweise nicht am Prozess partizipieren [Tan+08].

Allgemein lässt sich sagen, dass für eine erfolgreiche Kollaboration das Verständnis und das Wissen um die Aktivitäten der anderen Teilnehmenden sehr wichtig sind. Es lassen sich somit zwei Schlüsselemente für eine zielführende Kollaboration und Kommunikation zwischen sehenden und blinden Partnern benennen: Zum einen das Wissen über die Interaktionen und Änderungen des jeweiligen Partners (*Kontext-Bewusstsein*); zum anderen das Wissen über das Objekt, das gerade im Fokus der Aufmerksamkeit und eventueller Diskussionen steht (*Fokus-Bewusstsein*).

Das Bewusstwerden um die Aktivitäten der Anderen, die den Kontext für die eigene Aktivität darstellen, hilft eine korrekte Planung und Durchführung vornehmen zu können [DB92]. Die Kenntnisnahme über Änderungen und die Zustände beziehungsweise Aktionen der anderen Gruppenmitglieder sind der Schlüssel zu einer funktionierenden Kommunikation. Diese gemeinsame Basis zu erlangen, stellt für Gruppenmitglieder mit Einschränkung, wie beispielsweise blinde Menschen, eine Herausforderung dar, gerade wenn diese Informationen nur visuell aufbereitet zur Verfügung gestellt werden [MP13].

Kontext-  
Bewusstsein

Das Verfolgen von Änderungen anderer Teilnehmender ermöglicht es nicht nur den Fortschritt zu beobachten, sondern auch seine eigenen Aktivitäten darauf ausrichten zu können, um konstruktiv und nicht destruktiv in den Prozess einzugreifen. Der steten Präsenz von Kontextinformationen wohnt allerdings auch ein Nachteil inne. Die Überladung mit Statusinformationen kann beispielsweise zur Überflutung mit Informationen und damit zu Überforderung von Teilnehmenden führen [MBB07]. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn eine Teilaufgabe einzeln und / oder mit Konzentration bewältigt werden muss.

**Fokus-  
Bewusstsein** Die Möglichkeit, den aktuellen Fokus von Partnern zu erkennen, zu finden und schnell dort hinzugelangen, ist für eine effiziente Kollaboration äußerst hilfreich [MBB07]. Dabei sind Methoden, eine sehbehinderte Person an eine bestimmte Region zu führen, ein probates Mittel, um ein langwieriges und frustrierendes Suchen abzukürzen. Dies kann auch in kollaborativen und räumlich getrennten Szenarien, beispielsweise durch den Einsatz eines FF-Gerätes, realisiert werden [MP13; RME07]. Dem gegenüber steht jedoch, dass dieses aktive Eingreifen und Führen von einigen blinden Menschen als negativer Eingriff und Bevormundung empfunden wird [RME07].

## 2.5.2 Empfehlungen für kollaborative Systeme für sehende und blinde Menschen

Im Allgemeinen geht es bei der Kollaboration um die (gleichberechtigte) Teilhabe aller Beteiligten, sodass diese sich und ihre Fähigkeiten einbringen können. Die Rücksichtnahme auf Teilnehmende mit Einschränkungen kann helfen, dass sich diese nicht zurückgelassen fühlen. Dabei sind mit Einschränkungen nicht nur körperliche Beeinträchtigungen durch eine temporäre oder dauerhafte Behinderung gemeint. Auch technische Limitationen, wie eine begrenzte Bandbreite, unterschiedliche Bildschirmauflösungen oder ungeeignete Eingabemethoden, sowie weiche Einschränkungen, wie unterschiedliche Wissensbasen oder Sprachbarrieren, zählen hierzu.

Diese Rücksichtnahme kann von allen Beteiligten jedoch nur eingefordert werden, wenn sich diese darüber bewusst sind und in die Lage versetzt werden, Einschränkungen und deren Folgen zu erkennen. Natürlich kann dies den Arbeitsprozess verlangsamen, Wissen und Erfahrung eventuell sonst außen vorgelassener Personen geht dabei allerdings nicht von vornherein verloren.

**allgemeine  
Anforderungen** Zusammenfassend lassen sich aus der Literatur folgende Anforderungen und Hinweise zur Gestaltung einer kollaborativen Anwendung formulieren:

- Alle (verschiedenen) Benutzungsschnittstellen müssen synchronisiert und kohärent sein [Koz10; MW94; SMS07]. Eine geringe Latenz zwischen den einzelnen Teilnehmenden ist hier von Vorteil.
- Das Bewusstsein über das Handeln anderer Teilnehmenden innerhalb einer kollaborativen Umgebung ist wichtig [Tan+08], um beispielsweise destruktive Situationen (z. B. das Überschreiben von Änderungen) zu verhindern [Sal+06]. Dazu sollte es möglich sein, Kenntnis über den Status, die Position und das fokussierte Element eines jeden Beteiligten zu erlangen [DB92; MP13; SMS07].
- Zeige- und Führungsoptionen sollten verfügbar sein. Dies ist gerade in sehr umfangreichen und komplexen Umgebungen oder Dokumenten wichtig, um Diskussionen über einen gemeinsamen Sachverhalt zu ermöglichen [Sal+06]. Sollte sich eine Person verirren und das Element des allgemeinen Interesses nicht finden können, muss es Möglichkeiten geben, diese beim Auffinden zu unterstützen. Dies kann durch aktives Eingreifen anderer geschehen oder durch (verbale) Anleitung und Führung [Sal+06]. Für Letzteres ist es jedoch notwendig, dass die Position der suchenden Person den anderen bekannt ist.
- Jeder Teilnehmende sollte in die Lage versetzt werden, aktiv und selbständig mit seinem eigenen Gerät am Prozess mitwirken zu können [MP13; Tan+08].

- In einem kollaborativen Szenario sind Konversation und Diskussion essentieller Bestandteil der Interaktion [Sal+06]. Darum erscheint ein rein auditives Interface nicht zielführend. Dennoch können im Rahmen einer multimedialen und multimodalen Benutzungsschnittstelle auditive Informationen dazu beitragen, Nutzende über ihren Kontext und die Aktionen anderer Personen zu informieren [MBB07; MP13].
- Es sollte Möglichkeiten geben, den Entwicklungsfortschritt auch im Nachgang nachvollziehen zu können. Dies kann beispielsweise durch ein einsehbares Aktivitäts-Log für (kritische) Systemausgaben bereitgestellt werden [MP13].
- Kritische Funktionen, die zum Verlust des Gesamtfortschritts oder wichtigen Änderungen führen können, sollten besonders geschützt werden. Allgemein sollte das System möglichst stabil ausgelegt sein und über etablierte Methoden zur Fehlerbehebung (*Rückgängig* oder *Wiederholen* etc.) und -prävention (Plausibilitätscheck oder Bestätigungsdialoge etc.) verfügen [MP13].

Für die Kollaboration zwischen sehenden und blinden Menschen lassen sich zusätzlich spezielle Hinweise ableiten:

spezielle  
Anforderungen

- Für blinde Menschen ist der Zugang zu Schnittstellen oft stark auditiv ausgelegt. Dies kann im kollaborativen Kontext kontraproduktiv sein [MBB07; Win06]. Ein taktiler oder haptischer Zugang zu Informationen kann hier kompensieren und ein selbständiges Erkunden ermöglichen [MP13; Sal+06]. Dennoch bleibt die Kommunikation zwischen den einzelnen Teilnehmenden die größte Stärke [Sal+06]. Damit lassen sich auch Unzulänglichkeiten in der auditiven oder taktilen Darstellung ausgleichen, beispielsweise durch zusätzliche Beschreibungen oder Erklärungen durch andere Personen.
- Das Führen einer Person durch verbale Richtungsbeschreibungen kann zielführend sein, allerdings auch zu Missverständnissen führen [Sal+06]. Darum können Mechanismen des aktiven Führens oder gar das Umsetzen des Fokus anderer Personen Prozesse beschleunigen [MP13; RME07; SMS07]. Das aktive Umsetzen eines Teilnehmenden kann jedoch auch zum Verlust des Kontextes für diese Person führen, der dann erst wiedererlangt werden muss [RME07]. Dieses Risiko ist bei blinden Menschen besonders hoch, weshalb der Einsatz solcher Mechanismen weitestgehend vermieden werden sollte.
- Ein verlässliches Referenzsystem zur Erlangung und zum Erhalt eines räumlichen Kontextes ist von besonderer Wichtigkeit für blinde Menschen [Sal+06]. Hilfsmittel, wie ein Hilfsraster oder individuelle Markierungen, können helfen.

## 2.6 Fazit und Bedeutung für die Arbeit

Eine Verallgemeinerung der Zielgruppe ist faktisch unmöglich. Die Nutzergruppe der blinden Menschen ist hochgradig heterogen in ihren Erfahrungen, Erwartungen und ihren Fähigkeiten. Da der Großteil der blinden Menschen im höheren Alter ist, ist die Zielgruppe für einen angedachten Arbeitsplatz deutlich kleiner zu fassen. Ein Arbeitsplatz, der nicht nur zum Konsum, sondern auch zum Erstellen von grafischen Inhalten geeignet ist, kann und soll neue Beschäftigungsfelder für blinde und sehbehinderte Menschen erschließen und natürlich auch deren Ausbildungssituation verbessern. Für diese Arbeit werden als Zielgruppe hauptsächlich blinde Menschen angesehen, die in Ausbildung oder Beruf stehen, Interesse oder Bedarf an grafischen Inhalten haben und bestenfalls der Brailleschrift (konkret *Computerbraille* – siehe Abschnitt 3.1 – *Brailleschrift in Bildern*) mächtig sind.

Zielgruppe der  
Arbeit

In ihren Vorerfahrungen und im Umgang mit Grafiken unterscheiden sich blinde Personen ebenfalls sehr stark. Dies erschwert die Gestaltung von breit einsetzbaren grafisch-taktilen Materialien. Auch die unterschiedlichen Affinitäten in der Computernutzung machen die Gestaltung einer universellen Benutzungsschnittstelle zur Herausforderung. Es ist also bei der Gestaltung immer auch auf eine möglichst breite Anwenderbasis oder alternative Zugangswege zu achten. Darüber hinaus sind Aspekte der taktilen Wahrnehmung in Betracht zu ziehen und Nutzende oder Konsumenten in ihren angewendeten Erkundungs- beziehungsweise Interaktionsstrategien zu unterstützen. Für einen einzubindenden Lektor bedeutet dies im Umkehrschluss, dass sich dieser nicht nur über die taktile Darstellung selbst, sondern auch über deren Verständlichkeit für unterschiedlichste Konsumierende bewusst werden muss.

**Interaktionsmechanismen** Die Interaktionsmechanismen von Screenreadern können als Grundlage für Interaktionen mit dem Zeichenarbeitsplatz herangezogen werden. Darüber hinaus lassen sich die Funktionsweisen von Screenreadern übernehmen, um so einen nicht-visuellen Zugang zu Grafiken und Grafikwerkzeugen selbst zu schaffen. Für den Zugang zum Zeichenarbeitsplatz bedeutet dies, dass ein multimodaler Ansatz für Eingaben und ein multimedialer Ansatz für Ausgaben angestrebt werden sollte. Dabei sind bestenfalls neben dem taktil-grafischen Zugang auch Braille-Text, Töne und Sprachausgabe, welche durch Nutzende selbst anpassbar sein sollten, anzubieten.

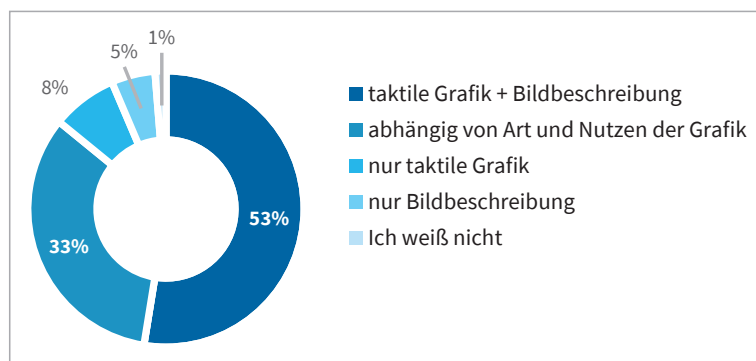
Bei der Wahl eines adäquaten taktilen Interfaces für den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz sollte es den sehbehinderten oder blinden Lektoren ermöglicht werden, Grafiken mit beiden Händen aktiv zu ertasten. Die Anordnung der Elemente auf dem Display sollte jedoch bekannte Erkundungs- und Interaktionsstrategien unterstützen. Verlässliche und gut wahrnehmbare Referenzpunkte sind hierbei anzubieten. Generell sollte die Darstellung und Interaktion durch nicht-visuelle Schnittstellen einfach, übersichtlich, im Umfang reduziert und körperzentriert präsentiert sein [SCS16].

Ist das taktile Display darüber hinaus noch berührungsempfindlich und sollen auch gestische Eingaben zugelassen werden, so ist bei der Wahl der verfügbaren Gesten auf ein robustes und für blinde Menschen angemessenes Set zu achten. Direkte Manipulationen und (Zeichen-)Eingaben mittels Gesten sind schwierig umzusetzen, da sie dem *Midas-Touch Effekt* unterliegen. Gestische Eingaben sollten somit als eine Erweiterung der Eingabemöglichkeiten, aber nicht als alleiniger Interaktionsmechanismus angesehen werden.

**Kollaboration** Um die Kollaboration zwischen einem sehenden Grafikautor und einem blinden Lektor zu ermöglichen und zu fördern, sind neben möglichst latenzfreien synchronisierten Schnittstellen auch Mechanismen vorzusehen, die es allen Beteiligten ermöglichen, sich der Sichtweise des Anderen sowie des aktuell im Fokus der Aufmerksamkeit befindlichen Objektes bewusst zu machen. Vor allem der sehende Grafikautor, der die Hilfe des sehbehinderten Lektors in Anspruch nehmen möchte, muss den Einschränkungen in der Wahrnehmung seines Gegenübers gewahr werden und daraufhin seine Handlungen anpassen können.

## Zugängliche Bilder und Medien

Der Zugang zu Grafiken erfolgt heutzutage meist durch eine Verbalisierung des Dargestellten in Form eines Alternativtextes. Dennoch wünschen sich viele Betroffene auch einen grafischen Zugang, beispielsweise durch den Einsatz taktiler Grafiken (siehe Abbildung 3.1). Wie ein solcher Zugang erfolgen kann, wird in diesem Kapitel beleuchtet.



**Abbildung 3.1:**  
Präferierter Zugang zu Grafiken durch blinde und sehbehinderte Konsumierende (n = 78) nach [\*PBW14]

### 3.1 Brailleschrift in Bildern

Schrift ist eines der Medien, das es der Menschheit ermöglicht hat, Wissen zu speichern, zu verteilen und zu bewahren. Schrift ist somit auch für Menschen wichtig, die diese nicht über die Augen wahrnehmen können, sondern diese erfüllen.

Heute hat sich als „*Blindenschrift*“ die Brailleschrift etabliert. Der blinde Franzose LOUIS BRAILLE erfand diese, auf fühlbaren Punktmustern basierende Schrift im Jahre 1825 als Kompensation für die bis dato existierenden, aber ineffizienten taktilen Schriftsysteme, die initial zur Nachrichtenübermittlung im Krieg erfunden wurden [HG08]. Die Brailleschrift setzt dabei auf die Substitution von Textzeichen durch zweispaltige Punktmuster (siehe Abbildung 3.2 a).

6-Punkt Braille

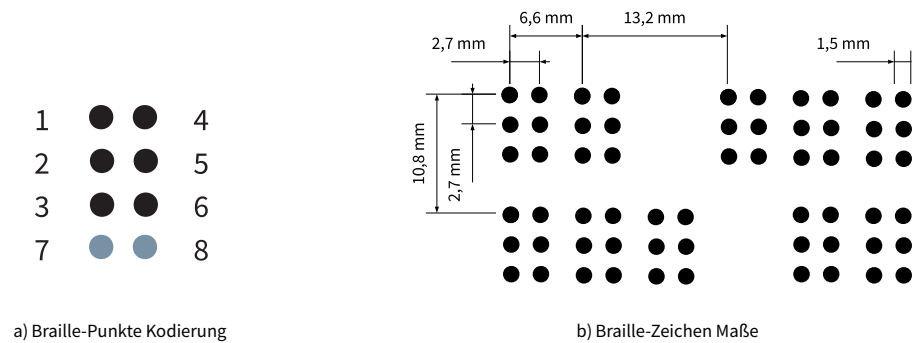


Abbildung 3.2: Eigenschaften von Braille nach [DIN07]

Anfangs war die Schrift noch auf Zeichen aus sechs Punkten (zwei Spalten á drei Punkte) beschränkt. Hierdurch lassen sich durch unterschiedliche Kombination von gesetzten Punkten und Lücken  $2^6$ , also 64 verschiedene Kombinationen – und damit Schriftzeichen – kodieren. Die Zeichen beziehungsweise deren Punktkombinationen können auch als Zahlenfolge, durch die Aufzählung der durchnummerierten erhabenen Punkte, eindeutig beschrieben werden.

64 verschiedene Zeichen klingt im ersten Moment viel; will man aber lateinische Groß- und Kleinschreibung, Zahlen, Sonder- und Satzzeichen kodieren, stößt das System schnell an seine Grenzen. Solche Informationen werden im sogenannten *6-Punkt Braille* mit einem weiteren vorangestellten Zeichen beschrieben, wenn kein eigenes Zeichen dafür zur Verfügung steht.

So werden hierzulande Großschreibungen durch ein vorangestelltes \$-Zeichen ( ⠠ ) [Heu+98, S. 34] und Zahlen durch ein #-Zeichen ( ⠼ ) angekündigt [Heu+98, S. 23] – es werden also zusätzliche Zeichen eingefügt.

**8-Punkt Braille** Um die Kodierungsmöglichkeiten zu erhöhen, wurde eine zusätzliche Reihe an Punkten angefügt. Durch die nun zur Verfügung stehenden acht Punkte (zwei Spalten á vier Punkte) lassen sich bereits  $2^8$ , also 256 verschiedene Zeichen kodieren. Damit lassen sich sowohl Großschreibung (durch Setzen des Punktes 7) als auch Zahlen im selben Zeichen kodieren; ebenso wie der gesamte ASCII-Zeichensatz, der als 8-bit Muster ebenfalls nur 256 Zeichen kodiert. Die Übersetzung der einzelnen ASCII Zeichen ist in der *DIN-Norm 32982* festgelegt [DIN94]. Aus diesem Grund wird das *8-Punkt Braille* auch als *Computerbraille*, oder hierzulande *Eurobraille*, bezeichnet [Heu+98, S. 19]. Der Name ist dabei Programm, denn sie findet häufig Einsatz auf einzeligen Braille-Displays (Braillezeilen), die in Kombination mit einem Screenreader zur Interaktion mit dem Computer genutzt werden.

Leider reichen diese 256 Kombinationen immer noch nicht aus, um alle möglichen Sonderzeichen darzustellen, die im digitalen und weltweit vernetzten Wissensaustausch auftauchen können. Darum sind Punktkombinationen oft mehrfach belegt und der Leser muss aus dem Kontext heraus entscheiden, welches Zeichen tatsächlich gemeint ist. Alle 255 Punktkombinationen sind auch als eigenständige Textzeichen im UTF-8 Zeichensatz (8-Bit Unicode Zeichenkodierung) vorgesehen (U+2800 (10240) bis U+28FF (10495)). Sie können somit theoretisch auch unabhängig von der dahinterliegenden Übersetzung kodiert und dargestellt werden.

**Braille Typographie** Während die gedruckte oder visuelle Schrift (*Schwarzschrift*) durch den Einsatz von verschiedenen Schriftarten, Schriftgewicht, Ausrichtung, Farbe, Größe, Dekoration und Ähnlichem vielfältige Möglichkeiten der Gestaltung hat, ist die Brailleschrift in ihrer Größe und Gestaltung invariant. Größe, Positionierung und Abstände von Punkten und Zeichen zueinander sind in der *DIN-Norm 32976* [DIN07] beziehungsweise der *ISO-Norm 17351* [ISO13] standardisiert

Das ist ein Text in Braille als Eurobraille.

Das ist ein Text in Braille als Eurobraille.

Das ist ein Text in Braille als Basisschrift.

\$das ist ein \$text in \$braille als \$basisschrift.

Das ist ein Text in Braille als Basisschrift.

das ist ein text in braille als basisschrift.

Das ist ein Text in Braille als Vollschrift.

das i} 3n text in braille als voll5rift.

Das ist ein Text in Braille als Kurzschrift.

d } 6 te'xt \* braiqe 3 kz5t.

**Abbildung 3.3:** Beispiele verschiedener Braille-Kürzungen

(siehe Abbildung 3.2 b). Auch die meisten Braillezeilen (siehe Abschnitt 2.3.1) setzen diese standardisierte Darstellung um. Geringe Abweichungen davon werden allerdings durch Leser toleriert. PRESCHER et al. bewiesen, dass vergrößerte Abstände zwischen den Textzeichen die Lesefähigkeiten von Braille-Lesern nur gering beeinflussen, sich diese durch Übung daran gewöhnen und ungeübte Leser sogar davon profitieren können [PNW10]. Trotzdem sind die typografischen Möglichkeiten der Brailleschrift begrenzt. Zusätzliche Annotation und Gestaltung kann durch Einrückungen, Ankündigungszeichen und Unterstreichungen realisiert werden. Eine wirkliche Standardisierung, wie diese Gestaltung beispielsweise für Überschriftenebenen aussieht, gibt es derzeit nicht. Es haben sich aber Gestaltungsversionen, wie die des Braille-Übersetzungsprogramms *RTFC*<sup>1</sup>, etabliert.

Da der Platzbedarf von Brailleschrift gegenüber der visuellen Schrift recht groß ist, haben sich Möglichkeiten bewährt, diesen zu reduzieren (siehe Abbildung 3.3). Gängig ist, für gedruckte<sup>2</sup> Werke nur die 6-Punkt Brailleschrift zu verwenden. Dies spart Platz, was aber nicht der Hauptgrund ist. Bei der 6-Punkt-Schrift lassen sich die einzelnen Zeichen schneller und robuster unterscheiden, da es deutlich weniger sind und zudem deren räumliche Ausdehnung geringer ist – sie also besser unter die Fingerkuppe passen [HG08]. Um den Platzbedarf der Texte weiter zu reduzieren, gibt es verschiedene Kürzungsgrade [Heu+98, S. 18–19]. Wird in der *Basisschrift* noch jedes einzelne Textzeichen durch ein Braille-Pendant repräsentiert, werden in der sogenannten *Vollschrift* besonders häufig vorkommende Kombinationen aus mehreren Textzeichen in einem einzigen Zeichen kodiert – Beispiele hierfür sind *sch* ( ⠠⠠⠠ ) oder *ei* ( ⠠⠠ ). In der sogenannten *Kurzschrift* werden dann ganze Silben zusammengefasst und kodiert. Die stärkste und abstrakteste Kürzung ist hierzulande dann die *Blindenstenografie*.

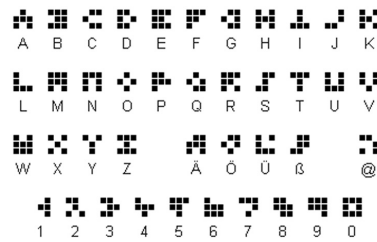
Alle Kürzungsgrade verlangen allerdings vom Leser, dass er die Kürzungen/Kodierungen kennt und zurückwandeln kann. Kürzungen sind dabei nicht immer uneindeutig, sodass die Zurückübersetzung (*Back-Translation*) schwierig und oft vom Kontext des Wortes abhängig ist. Nicht jeder Braille-Leser kann alle Kürzungsgrade lesen und verstehen. Wer jedoch Kürzungen nutzen kann, wird dadurch im Braille-Lesen und -Schreiben deutlich effizienter [Heu+98, S. 19]. Zudem gibt es für fast jede Sprache eine eigene Zeichen-Übersetzungstabelle. Sonderkodierungen für Mathematik, Wissenschaft oder Musik existieren ebenso [Heu+98].

<sup>1</sup> RTFC Braille-Konverter – Url: <http://www.rtfc.de/braille/> - zuletzt besucht Aug. 2019

<sup>2</sup> eigentlich „taktil geprägte“ – aber auch blinde Menschen verwenden den Begriff „gedruckt“ für Schrift auf Papier



a) Stachelschrift (Bildquelle Blindenmuseum Berlin)



b) Fakoo-Schrift mit 3 x 3-Punktmatrix (Bildquelle fakoo.de)



c) Taktile Schwarzschrift (Bildquelle Blindenmuseum Berlin)

**Abbildung 3.4:** Alternative taktile Schriften

**Braille lesen** Nicht jeder blinde Mensch kann Braille lesen. Es gibt Schätzungen, dass nur etwa 20 %<sup>3</sup> der blinden Menschen in Deutschland tatsächlich dazu in der Lage sind [KL96; Löt94] – über die Güte ihrer Braille-Lese-Fähigkeiten sagt dies nichts aus. Darunter sind dann noch diejenigen zu unterscheiden, die die verschiedenen Kürzungsgrade beherrschen. Die geringe Verbreitung von Braille liegt auch an der stetigen Verbesserung der Sprachausgaben [JA18] und dem hohen Alter vieler blinder Menschen. Braille-Lernen ist schwer und mühsam, was die Hürden für das Erlernen hoch setzt [Dou+09; Kho11]. Dennoch ist gerade für junge blinde Menschen, die eine gute Ausbildung erhalten (wollen), die Schriftform – vor allem auch im Umgang mit dem Computer – essentiell [Dou+09; JA18]. Manche Dinge lassen sich sehr schwer durch Sprachausgaben eindeutig verbalisieren. Beispiele hierfür sind Rechtschreibung, Fremdsprachenausdrücke, Fach- und Programmiersprachen oder mathematische Formeln [JA18]. Auch wenn immer noch ein hoher Prozentsatz blinder Menschen arbeitslos ist, so können doch die meisten blinden Menschen mit eigenem Einkommen Braille [Ama02]. Es bleibt allerdings festzuhalten, dass Braille-Lesen deutlich langsamer ist als das visuelle Lesen [Rad15] oder das Vorlesen lassen, zum Beispiel mittels Sprachausgabe [JA18].

**Alternativen** Neben der Brailleschrift gab und gibt es immer noch alternative taktile Schriften (siehe Abbildung 3.4 a), wie die Stachelschrift, die *Fakoo-Schrift*<sup>4</sup> oder einfach taktile Schwarzschrift. Diese sind in ihrer taktilen Gestaltung deutlich näher an die visuellen Schriftzeichen angelehnt, was das Erlernen beziehungsweise Wiedererkennen, insbesondere für späterblindete Menschen, deutlich vereinfacht. Somit können auch Nicht-Braille-Leser solche Informationen konsumieren, auch wenn diese bei Weitem nicht so effizient sind wie die Brailleschrift.

**Braille schreiben** Brailleschrift kann manuell entweder mit einer Schreibmaschine, bei der jeder Finger einem der sechs oder acht Punkte eines Zeichens gegenübersteht, oder per Hand mittels Schablone und Stichel in ein Blatt Papier geprägt werden (siehe dazu Abbildung 3.35 a auf Seite 63). Bei der händischen Variante muss die schreibende Person das Braille von hinten und somit spiegelverkehrt in das Papier drücken. Dies verlangt eine sehr gute Braille-Kenntnis und ist mental sehr anstrengend. Natürlich stehen auch Möglichkeiten, wie das Prägen mittels Drucker oder dynamische taktile Displays zur Anzeige von digitalen (Braille-)Texten, zur Verfügung (siehe Abschnitt 3.2 – *Taktile Medien*).

**Braille in Bildern** Schrift ist natürlich auch immer wieder Bestandteil von Abbildungen. Die zusätzliche Beschreibung von Elementen mittels Annotationen kann das Verständnis für die Darstellung fördern [AT00]. Braille eignet sich ebenfalls zur Annotation von Bildern. Es hat aber bekanntlich auch einige Nachteile, denen bei der Gestaltung Rechnung getragen werden muss. Ein

<sup>3</sup> Konkrete Zahlen gibt es nicht. Diese Aussage basiert auf einer Schätzung des Deutschen Blinden- und Sehbehindertenverbandes (DBSV) aus der Mitte der 90er Jahre.

<sup>4</sup> Fakoo-Alphabet – Url: <http://www.fakoo.de/fakoo.html> – zuletzt besucht Aug. 2019



großes Problem ist der relativ große Raum, den Braille einnimmt. Daraus ergibt sich, dass oftmals nur Abkürzungen oder Kürzel verwendet werden, die dann anschließend in einer zusätzlichen Legende erklärt werden müssen. Der zweite große Nachteil an Braille innerhalb von Grafiken ist die oftmals fehlende Grundlinie. Zum Erkennen, welches Zeichen das Punktmuster darstellen soll, ist es notwendig, eine (gedachte oder reale) Grundlinie als Referenz für das Zeichen zu haben. Dies ermöglicht es zu entscheiden, welche Punkte innerhalb des  $2 \times 3$  oder  $2 \times 4$  Rasters gesetzt sind und welche nicht. Gerade bei abstrakten Texten, wie Kürzeln, ist dies nicht ohne Weiteres aus dem Kontext oder den anderen umliegenden Zeichen zu erkennen. Es sollte also immer ein Referenzrahmen um Braille-Text herum angelegt werden.

Ebenfalls ein großes Problem stellt die grundlegende Erkennung von Texten dar. Gerade in auf Punkten basierenden Bildern (siehe Abschnitt 3.2 – *Taktile Medien*) fällt ein weiteres Punktmuster kaum auf, zudem muss es als Braille identifiziert und interpretiert werden und darf nicht als bildhafte Struktur missverstanden werden.

Generell zeigen aber auch eigene Beobachtungen, dass es Lesenden, die dem Braille mächtig *Anmerkung* sind, nicht sonderlich schwerfällt, dieses zu erkennen. Tatsächlich wurde eher das Gegenteil beobachtet: Manche Leser können leicht Braille-Zeichen in bildlichen Strukturen (wie beispielsweise Füllmustern, Punktsymbolen, etc.) erkennen und diese dann zur Wiedererkennung sehr gut nutzen [\*BPW14; \*PBW17]. Der Einsatz von Braille in Bildern kann durch interaktive audio-taktile Systeme verringert oder gar ganz vermieden werden (siehe Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten*).

Eine direkte Symbiose zwischen Brailleschrift und grafischen Elementen kann genutzt werden, um Unzulänglichkeiten der reinen Brailleschrift zu überwinden. So kombiniert beispielsweise der *MathType* Ansatz, grafische Symboliken mit Braille-Text, um mathematische Formeln mit räumlichem Layout darzustellen [GUB06]. Zahlen und andere einfache Symbole werden in Braille-Zeichen überführt, während Operatoren und strukturbildende Objekte grafisch taktil dargestellt werden und den Braille-Elementen die räumliche Referenz vorgeben. So werden die Vorteile der einfachen Lesbarkeit von Braille mit denen der räumlich-grafischen Strukturierung kombiniert.

## 3.2 Taktile Medien

Die hier vorgestellten Medien und Methoden zur Präsentation von taktilen Inhalten unterscheiden sich stark in ihren Eigenschaften. Dabei sind vor allem die Möglichkeit zur dynamischen Veränderung sowie der mögliche Detailgrad der taktilen Darstellung – beschrieben durch die maximale Auflösung (Rasterung) und die Fähigkeit zur Darstellung verschiedener Höhen der taktilen Strukturen – entscheidend. Weitere Eigenschaften, wie Kosten oder Produktionszeit, differieren ebenfalls stark.

Weiterhin lassen sich grundsätzlich zwei verschiedene Arten von taktilen Medien unterscheiden, wobei heutzutage der Übergang fließender geworden ist. Das eine sind die analogen, manuellen Methoden und Medien, die einen hohen Grad an handwerklichem Aufwand für den Autor mit sich bringen. Zum anderen gibt es die digitalen und teilweise dynamischen Methoden und Medien, die das taktile Darstellungsmedium über einen digitalen, virtuellen Master beschreiben können. Im Folgenden wird ein Überblick über die beiden Gruppen der statischen – also unveränderlichen – taktilen Medien und der dynamisch-taktilen beziehungsweise dynamisch-haptischen Geräte zur Präsentation von veränderlichen Inhalten gegeben.

basiert auf



[\*PBW17]

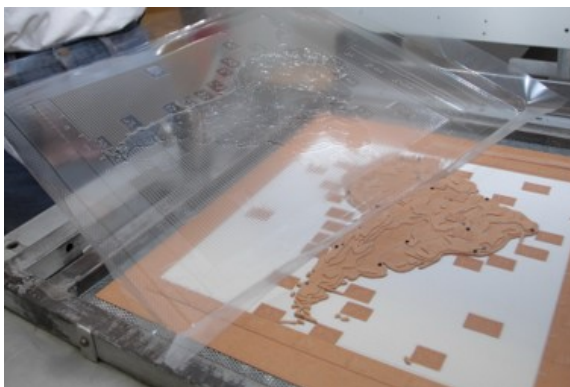
**Abbildung 3.5:**

Kollage mit Nadelbaum und Asseln im Waldboden aus verschiedenen Materialien (Seite aus einem taktilen Bilderbuch)

### 3.2.1 Statisch-taktile Medien

**Kollage** Zu den gängigsten manuellen Methoden beziehungsweise statischen Medien gehören die Kollagen. Diese erlauben es, Objekte mit unterschiedlichsten Strukturen und Oberflächen zu nutzen. So können detaillierte Bilder mit einer realitätsnahen Haptik geschaffen werden (siehe Abbildung 3.5). Kollagen, gerade wenn sie detailliert oder groß sind, lassen sich oftmals nur schwer vervielfältigen und verteilen.

**Tiefziehfolie** Eine Möglichkeit dieses Problem zu lösen ist das Abformen der Kollage und die Übertragung dieser in eine steife Plastikfolie. Dies kann mit dem (Vakuum-)Tiefziehverfahren bewerkstelligt werden (siehe Abbildung 3.6). Dabei wird eine thermoplastische Kunststoffolie erwärmt und mittels Unterdruck auf einen stabilen Master<sup>5</sup> gelegt. Durch den Unterdruck schmiegt sich die Folie dicht über den Master. Dabei werden auch feine Details in der Struktur auf die Folie übertragen. Nach dem Abkühlen der Folie ist diese stabil und kann vom Master abgehoben und verteilt werden. Das Verfahren des Tiefziehens ist sehr schnell, kostengünstig in den Materialien und kann auch auf großformatige oder hoch aufragende Formen angewendet werden. Die realitätsnahe Haptik einer Kollage durch den Einsatz verschiedener Materialien geht jedoch unter Umständen durch dieses Verfahren verloren.



a) Tiefziehapparat (Vakuum Thermoformer, Bildquelle DZB Leipzig)



b) Master aus per Schneideplot erstellten Kartonebenen

**Abbildung 3.6:** Tiefziehverfahren und Master

<sup>5</sup> Positiv-Form des Originals, das abgeformt werden soll

**Abbildung 3.7:**

3D-Druck-Modell einer Pflanzenzelle mit herausnehmbaren Zellkörperchen (Organellen)

Die zum Tiefziehen als Master verwendete Kollage kann über verschiedene Wege hergestellt werden. Bei klassischen Kollagen wird initial ein teils großer (Bastel-)Aufwand notwendig. Um dies zu optimieren ist das Zusammensetzen von Schichtmodellen, deren Einzelschichten über einen Schneidplotter erstellt wurden, gängige Praxis geworden (siehe Abbildung 3.6 b). Diese Schichtmodelle können im Nachgang mit allerlei Details versehen und ausgestaltet werden. Auch das Abformen realer Gegenstände oder das Erstellen des Masters mittels 3D-Druck ist möglich.

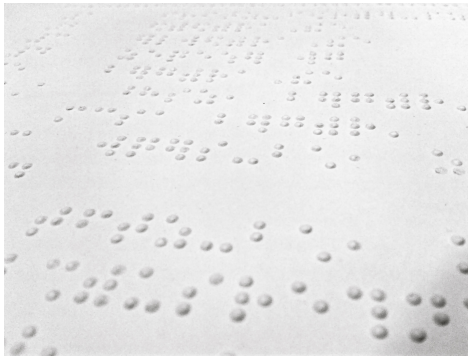
Gerade der 3D-Druck kann den hohen Aufwand an handwerklichen Arbeiten zur Erstellung taktile Modelle ersetzen. Hierbei wird durch den Einsatz von thermoplastischen Filament aus einem digitalen Modell, welches sich frei bearbeiten und abändern lässt, ein reales und erfahrbares Objekt [BKH14]. Bei der Erstellung solcher 3D-Modelle kann auf eine Vielzahl vorbereiteter Modelle aus öffentlichen Datenbanken zurückgegriffen werden; auch das automatisierte Generieren aus einer gegebenen Datenbasis ist möglich [GP14; Tay+16]. Leitfähiges Druckfilament oder der Einsatz von Mechanik erlauben es sogar, diese Modelle interaktiv zu gestalten [BKH14; BH12].

3D-Druck

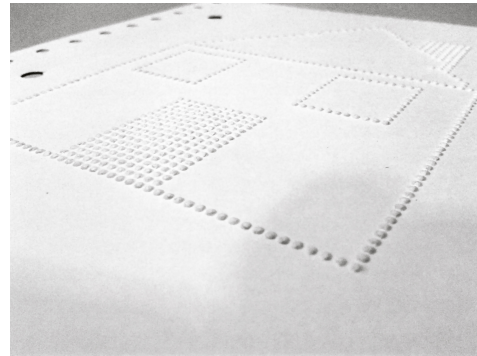
Mit 3D-Druckern lassen sich unendliche Möglichkeiten in der Gestaltung von taktilen Grafiken und Modellen erschließen. Unterschiedliche Höhenstufen sind ebenso möglich wie die Belegung von Flächen mit verschiedenen Oberflächenstrukturen und Füllmustern (siehe Abbildung 3.7). Die heutige 3D-Drucktechnik hat aber auch noch einige Nachteile. Sie ist oft schwierig zu bedienen und die Qualität des Druckergebnisses variiert stark – je nach Qualitätseinstellung, benutztem Drucker und eingesetztem Druckfilament [Tay+16]. Dies führt auch dazu, dass sehr feine und detaillierte Strukturen, sowie alphanumerische oder Braille-Zeichen nur schwer zu produzieren und durch blinde Nutzende zu lesen sind [BKH14; BH12; Hu15].

Die Darstellung von fühlbaren Texten in Form von Braille durch Prägen in Papier oder Plastikfolien ist bekannt (siehe Abbildung 3.8 a). Die hierfür genutzten Prägedrucker können auch zur Erzeugung von grafischen Ausgaben genutzt werden. Zur Darstellung von Grafiken ist ein äquidistanter Punktabstand von Vorteil. Das heißt, jeder Punkt hat den gleichen Abstand zu seinen vier direkten Nachbarpunkten sowie zu seinen vier diagonalen Nachbarpunkten (siehe Abbildung 3.8 b). Diese gleichmäßige Punktverteilung ist für die homogene und unverzerrte Darstellung wichtig. Da Brailleschrift selbst keinen gleichmäßigen Punktabstand zwischen allen Punkten hat – der Abstand zwischen zwei Punkten innerhalb eines Zeichens ist kleiner als der Abstand zwischen zwei Braille-Zeichen einer Zeile oder zwischen zwei Zeilen (siehe Kapitel 3.1) – ist dieser Grafikmodus von Braille-Druckern nicht als selbstverständlich vorauszusetzen. Ist ein solch äquidistanter Modus nutzbar, können auf klassischen Braille-Druckern Binärbilder mit einer Auflösung von rund 10 dpi erzeugt werden. Ein großes Problem

Braille-Drucker



a) Braille-Druck mit Text-Laufweite (Abstand zwischen Zeichen größer als zwischen Punkten innerhalb eines Zeichens)



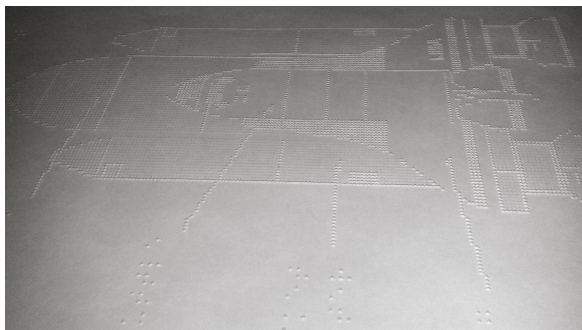
b) Druck in äquidistanter Einstellung (Punkteabstand immer gleich) mit ca. 10 dpi Auflösung

**Abbildung 3.8:** Braille-Druck im Text- und Grafik-Modus

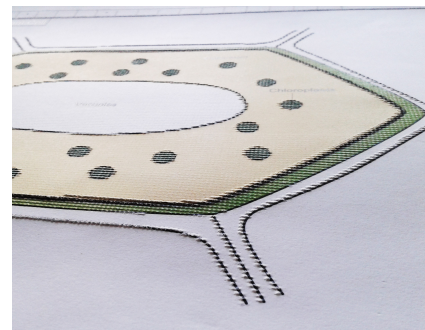
ist, dass der Leser einer Grafik, die nicht äquidistant geprägt wurde, oft initial Schwierigkeiten hat, den Inhalt nicht als Text, sondern als grafischen Inhalt zu erkennen und dementsprechend zu interpretieren [MGB14].

**grafikfähige Prägedrucker** Die niedrige Auflösung der klassischen Braille-Drucker wird von grafikfähigen taktilen Druckern übertroffen. Dabei gibt es mehrere Möglichkeiten, wie die mögliche Informationsdichte erhöht werden kann.

Eine Möglichkeit ist die Verkleinerung des geprägten Punktes. Dadurch lässt sich eine dichtere Punktmatrix anwenden und die Auflösung steigern. Grafikfähige Prägedrucker der Firma *ViewPlus*<sup>6</sup> beispielsweise erreichen auf diese Weise eine Auflösung von 20 dpi. Zusätzlich zur höheren Auflösung können einige dieser Drucker auch die Kraft variieren, mit der sich der Prägestempel in das Papier drückt. So lassen sich bis zu acht verschiedene Höhenstufen für geprägte Punkte nutzen (siehe Abbildung 3.9 a). Diese werden durch den Helligkeitsgrad des zu druckenden Bildpunktes bestimmt – je dunkler desto höher wird geprägt. Über die taktile Darstellung hinaus können einige Prägedrucker einen Farbdruck als Basis erstellen, der im Nachgang taktil überprägt wird (siehe Abbildung 3.9 b). Dies ermöglicht es Leser mit Sehrest zu adressieren und erleichtert die Zusammenarbeit zwischen Menschen mit und ohne Sehbeeinträchtigung. Taktile Strukturen lassen sich oftmals nur sehr schwer visuell erkennen. Zudem sind sehende Menschen der Brailleschrift meist nicht mächtig. Durch den Farbdruck lässt sich somit eine visuelle Darstellung oder eine Schwarzschriftalternative unterlegen.



a) 20 dpi Prägedruck mit verschiedenen Höhenstufen

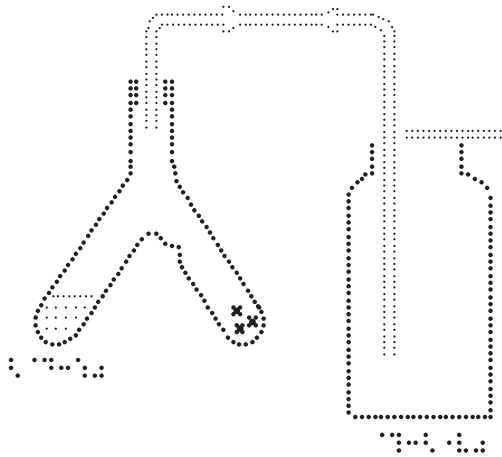


b) 20 dpi Prägedruck mit Farbdruck kombiniert

**Abbildung 3.9:** Ausdrücke von grafikfähigen Prägedruckern

<sup>6</sup> ViewPlus – Url: <https://viewplus.com/> – zuletzt besucht Juli 2019



**Abbildung 3.10:**

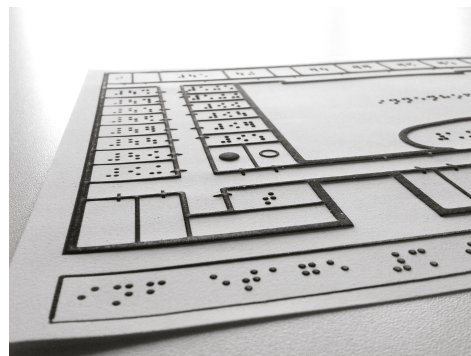
Beispiel eines Experimentaufbaus aus der Chemie bestehend aus einem verflochtenen Zweischenkelrohr mit zwei Reagenzien, welches über ein Glasröhrchen mit einer Gaswaschflasche verbunden ist.

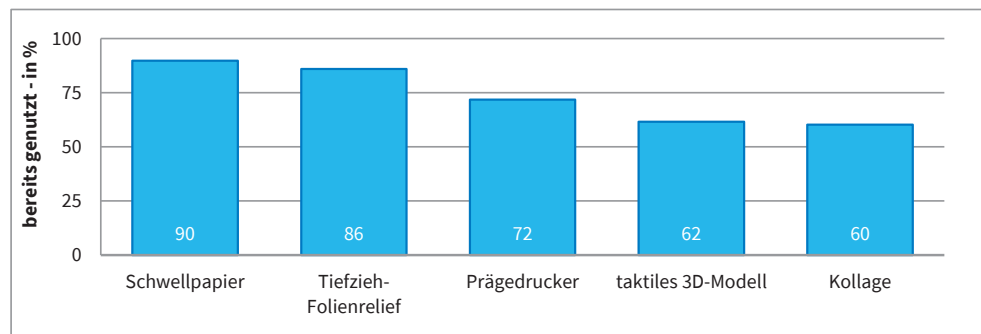
Die Grafik wurde mit dem *BPLOT2* [Fuj+08] System für den hochauflösenden, grafikfähigen Prägedrucker *ESA721* (*JTR Corporation*) mit rund 75 dpi Auflösung und zwei verschiedenen Punktgrößen erstellt.

Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Informationsdichte ist die Verfeinerung des Bewegungsfreiraums des Prägekopfes. So können einige Prägedrucker nicht nur zwischen verschiedenen Punktgrößen für den Prägestempel wählen [Fuj+10], sondern diesen auch mit einer Genauigkeit von etwa 150 dpi auf dem Blatt platzieren (siehe Abbildung 3.10). Das bedeutet nicht, dass eine Punktauflösung von 150 dpi praktikabel wäre, da sich bei einer solchen Auflösung die einzelnen Punkte überlagern würden. Es erlaubt dem Prägedrucker vielmehr, die Prägepunkte besser auf dem Blatt zu verteilen und damit deutlich bessere und weichere Linienverläufe zu prägen [Fuj+08]. Allgemein gilt jedoch: Verändert man die Auflösung und Verteilung des Druckrasters oder die Punktgröße gegenüber den klassischen Braille-Druckern, verschlechtert sich die Lesbarkeit von dargestelltem Braille-Text.

Ein Medium, das in Punkto Auflösung glänzt, ist das sogenannte Schwellpapier. Dieses Papier enthält eine Schicht spezieller Chemikalien (Alkohol oder Kunststoffe), die beispielsweise auf Hitze reagieren, indem sie sich ausdehnen. Hierdurch ergeben sich erhabene fühlbare Strukturen auf dem Blatt (siehe Abbildung 3.11). Je mehr Hitze in das Blatt eingebracht wird, umso höher erheben sich die Strukturen bis zu ihrer maximalen Ausdehnung. Klassisch werden die Papiere mit den darzustellenden Grafiken bedruckt und dann unter einer Heizlampe (*Fuser*) angeschwollen. Dunkle Bereiche, die mit Farbe bedruckt wurden, nehmen die Wärme der Lampe schneller auf und schwellen damit an, während helle Bereiche nur wenig bis gar nicht anschwellen. Durch den Einsatz verschiedener Farben oder Graustufen lassen sich so auch unterschiedliche Höhenstufen in den taktilen Strukturen erzeugen. Das Papier lässt sich auch mit gängigen Stiften beschreiben und danach anschwellen.

Schwellpapier

**Abbildung 3.11:** Schwellpapierausdrucke einer Weltkarte (links) und eines Raumplans (rechts)



**Abbildung 3.12:** Verbreitung und Nutzung statischer taktiler Medien durch blinde und sehbehinderte Konsumentende (n = 78) nach [\*PBW14]

Die mögliche Auflösung der dargestellten Grafiken ist sehr hoch und nur durch die Auflösung des Druckers beziehungsweise die Größe der schwellenden Mikrokapseln im Papier beschränkt, aber faktisch taktil nicht wahrnehmbar. Der haptische Eindruck der Grafiken wird von Lesern als sehr angenehm beschrieben. Dennoch ergeben sich bei dieser Methode nur schwer scharfe Kanten an den Grenzen zwischen dunklen und hellen Flächen, was die Übergänge weich und unbestimmter wirken lässt. Dies ist gerade bei der Darstellung von Brailleschrift von Nachteil. Zusätzlich ist das Papier durch die mechanischen Kräfte des Lesens mit den Händen Belastungen ausgesetzt, die es beschädigen können. Zudem kann sich die aufgetragene Farbe lösen und sich auf den Leser übertragen.

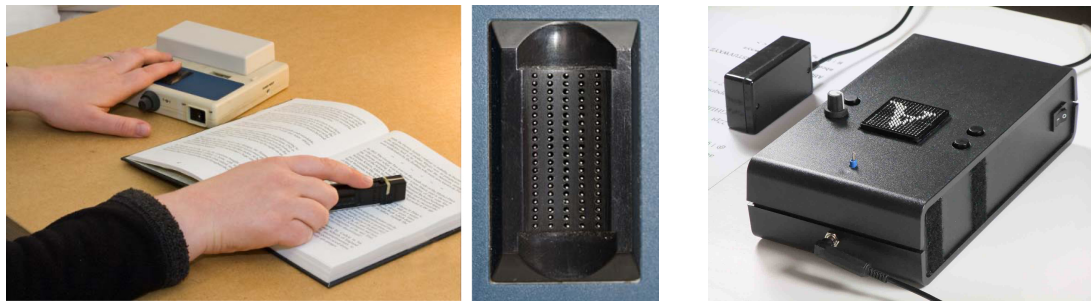
digitale und  
analoge Medien

Kollagen, Tiefzieh-Relieffolien und ähnliche Methoden setzen meist auf analoge, also reale und oft mit Handarbeit verbundene Gestaltung. Dies ist aufwendig und setzt oft spezielles Können voraus. Andere statische Medien, wie Prägedruck, Schwellpapier oder 3D-Druck, haben durch ihre Produktionsmethoden die Möglichkeit, computererzeugte digitale Bilder darzustellen. Dadurch ist der reine Herstellungsprozess des fühlbaren Mediums deutlich einfacher und meist auch von Laien zu handhaben. Die im folgenden Abschnitt beschriebenen dynamischen Medien setzen ausschließlich auf digitale, virtuelle Bilder und Daten als Basis ihrer Präsentation.

### 3.2.2 Dynamische Medien

Nach PRESCHER sind die beiden Hauptaufgabenfelder für haptische Displays der Zugang zu Text und der Zugang zu grafischen Darstellungen [Pre16, S. 26]. Idealerweise sollte ein System beide Aufgabenfelder uneingeschränkt unterstützen. Wie schnell ein Display den dargestellten Inhalt ändern kann, ist ein Kriterium, das sich natürlich auch stark am Anwendungsfall orientiert oder diesen beeinflusst. Ist vom uneingeschränkten Einsatz auszugehen, sind schnelle Bildwechsel, beispielsweise bei Operationen wie Vergrößern und Verkleinern, wünschenswert [Swa+16].

Nicht mehr ganz aktuelle Überblicke über haptische und taktile Displays und deren Anwendungsgebiete finden sich unter anderem bei BENALI-KHOUDJA et al. [Ben+04] sowie VIDAL-VERDÚ und HAFEZ [VH07]. Im Folgenden wird ein Überblick über einige taktile Ausgabegeräte gegeben, die zur Betrachtung von grafischen Inhalten für blinde Menschen geeignet erscheinen. Im Speziellen wird anschließend das Feld der taktilen Flächendisplays näher beleuchtet.



a) Einsatz des Optacon (links) und dessen taktile Displayeinheit (rechts) [Bre+08]

b) VideoTIM3 (Bildquelle ABTIM)

**Abbildung 3.13:** Analoge, kamerabasierte, dynamisch-taktile Displays

### 3.2.2.1 Haptische und taktile Anzeigergeräte

Eines der ersten dynamisch taktilen Systeme ist das *Optacon* (optical-to-tactile converter) [CS82, S. 210 ff.]. Das Gerät bestand hauptsächlich aus einer kleinen Kamera und einem latero-taktilen Display – bestehend aus kleinen vibrierenden Stiften, die die Haut leicht horizontal bewegen (siehe Abbildung 3.13a). Mit der Kamera können beispielsweise gedruckte Texte abgescannt werden. Dunkle Stellen werden auf das kleine taktile Display übertragen und stimulierten die darauf ruhenden Finger. So können blinde Menschen Zugang zu gedruckten Informationen erhalten. Auch einfache Grafiken können damit betrachtet werden [Ken93, S. 117]. Das *Optacon* ist eines der wenigen dynamisch taktilen Geräte, bei denen die Darstellung nicht auf digitalen Informationen basiert. GUHA und ANAND bauten ein ähnliches System, um Bildschirminhalte mit dem Kameragerät auf die taktile Ausgabe zu übertragen [GA92].

analoge  
dynamisch-taktile  
Bildbetrachter

Im *VideoTIM* (Taktile Interaktions-Monitor)<sup>7</sup> wurde das Vibrationsdisplay des *Optacon* durch ein taktiles Stiftdisplay ersetzt (siehe Abbildung 3.13b). Nutzende können somit aktiv das taktile Kamerabild erkunden und müssen sich dieses nicht passiv-taktil präsentieren lassen (vergleiche dazu Abschnitt 2.2.1 – *Taktile Wahrnehmung von Grafiken*).

Vibration kann ebenfalls zur Vermittlung von taktilen Reizen und Informationen eingesetzt werden. So lassen sich verschiedene Ein- und Ausgabegeräte (Stifte, Monitore, Controller, etc.) um Vibrationsaktuatoren und somit um einen taktilen Kanal erweitern. Der vibro-taktile Stift von SHARMIN, EVREINOV und RAISAMO [SER05] wurde beispielsweise von EVREINOVA et al. zur Exploration von einfachen Graphen genutzt [Evr+08]. KILDAL und BREWSTER nutzen Vibration an einem Touchscreen, um eine eigentlich auf Sonifikation ausgelegte Tabellenerkundung zu erweitern [KB06].

vibro-taktile  
Displays

Force-Feedback (FF) ist ebenfalls eine technische Möglichkeit, haptische und taktile Rückmeldungen an einen Nutzenden zu übertragen. Dabei bildet dieser Begriff eine Überkategorie für Geräte, die sich hauptsächlich auf die Erzeugung mechanischer Kräfte verstehen, was generell eher auf die haptische beziehungsweise die kinästhetische Wahrnehmung von Nutzenden während der Interaktion abzielt. Viele solcher FF- oder Kraftrückmelde-Geräte stellen nicht nur simple Ausgabegeräte dar, sondern erlauben es zudem, die Position und Stellung des Gerätes zu registrieren. Damit können sie gleichermaßen als Eingabegerät verstanden werden. Geräte, wie *SensAble PHANTOM*, *3D Systems Touch*<sup>8</sup> oder *Novint Falcon* (siehe Abbildung 3.14) geben ihre Kräfte in Form von Widerstand gegen die Bewegungsabsicht des Nutzers oder als Zugkräfte auf dessen Bewegungsapparat weiter. Die Anzahl der Bewegungsgrade, in der sich die Kräfte ausüben lassen, differiert dabei zwischen den Geräten.

Force Feedback

<sup>7</sup> VideoTIM3 – Das neue Blindenlesegerät – Url: <http://www.abtim.com> – zuletzt besucht Sep. 2019

<sup>8</sup> 3D Systems – Url: <https://de.3dsystems.com/haptics-devices/touch> – zuletzt besucht Aug. 2019

a) Haptisches Eingabegerät *Touch* (Bildquelle 3D Systems)b) *Novint Falcon* (Bildquelle Wikimedia)**Abbildung 3.14:** Haptische Eingabegeräte mit Force Feedback

3D-Kraftrückmelder, wie *Phantom* und *Falcon*, sind oft nur auf einen Punkt als Ausgabebereich sowie auf wenige Rezeptoren einer Hand beschränkt [MPM12]. Zudem ist der Interaktionsraum oft technisch stark beschränkt. Dennoch stellen sie durch ihre hochfrequente Ansteuerung (bis zu 1.000 Hz) und präzise einzustellenden Kräfte eine gute Möglichkeit dar, Haptik und Kinästhetik in virtuelle Welten einzubringen. Erfolgreich werden diese Geräte für sehbehinderte Menschen in der Vermittlung von Linien-Zeichnungen, Oberflächentexturen, Graphen und Diagrammen eingesetzt [Bus03; MDR06; MP13; Mur+10; Pli+11; Ras+14; Sal+06; Sjö02].

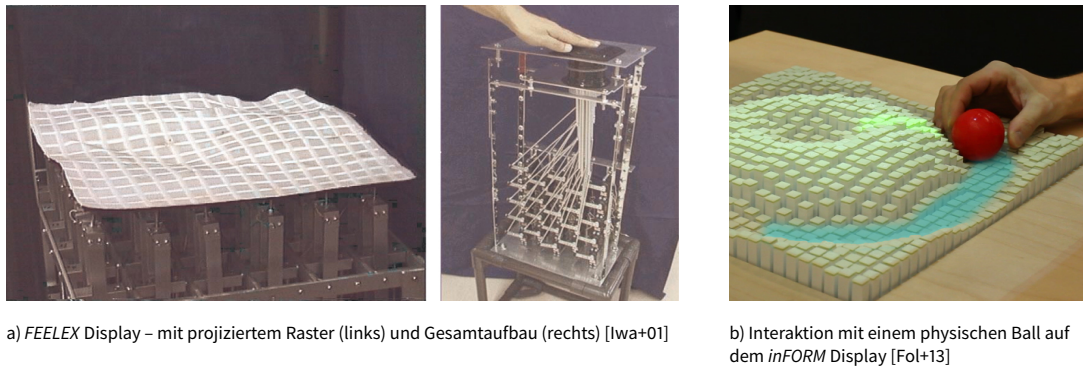
Andere Geräte, wie die *Logitech WingMan* FF-Maus, können selbst keine Zugkräfte ausüben. Sie geben ihre Rückmeldung in Form von Widerstand gegen die Bewegung des Nutzenden, das heißt, durch die Erhöhung der Reibungskräfte weiter. Das Gerät muss somit bewegt werden, um den teilweise räumlich und zeitlich begrenzten Stimulus zu erfahren oder zu wiederholen. Die FF-Maus wurde bereits in Anwendungen für blinde und sehbehinderte Menschen im Bereich der einfachen Graphen und Diagramme eingesetzt [WB02; YKB03].

Vibrations- und Kraftrückmeldeelemente können neben speziell dafür entwickelten Geräten in fast alle Eingabegeräte integriert werden, die für eine kinästhetisch basierte Nutzerinteraktion konzipiert sind – beispielsweise Joysticks [LM08], Mäuse oder Gamepads. Auch der Einsatz von Kraftrückmeldern in tragbaren Eingabegeräten zur Unterstützung der Interaktion und Immersion in Virtual-Reality-Anwendungen steht derzeit im Fokus der Entwicklung [Che+18; Whi+18; Zha+18].

**elektrostatische Displays** Einen direkteren taktilen Zugang – der jedoch ebenfalls meist nur auf einen einzigen Berührungspunkt beschränkt ist – bieten elektrostatische Displays, die den taktilen Eindruck durch die Veränderung von statischer Elektrizität zwischen Displayfläche und Fingerkuppe erzeugen [Bau+10; Wij+12]. Dabei wird eine statische Aufladung zwischen Person und Geräteoberfläche erzeugt, die den Eindruck einer Oberflächenstruktur impliziert. Dieser entsteht jedoch meist nur durch die Veränderung der Lage des erkundenden Fingers. Um den taktilen Stimulus also zu erfahren, muss der Finger bewegt werden. Eine Ausgabe an einen ruhenden Finger ist fast nicht möglich. Bisher zielen diese Displays eher auf die Erweiterung des Interaktionserlebnisses für sehende Nutzende.

**Ultraschall** Auch durch starken und fokussierten Ultraschall lassen sich dynamisch veränderliche taktile Eindrücke erzeugen [IS06]. Dabei werden Ultraschallmitter so ausgerichtet, dass sie an einem Fokuspunkt einen fühlbaren Eindruck unter eine Membran [IS06], in die Luft [HS16] oder an einen aufgelegten Finger übertragen [Tak16]. Dieser Eindruck kann in seiner Stärke variiert werden. Durch den Einsatz mehrerer Emmitter kann eine Matrix und damit ein Display solcher Stimuli aufgespannt werden [ITS08; HIS09]. Ähnliche Ansätze wurden bereits auch durch Luft- [MKA15; Sod+13] oder Wasserdüsen umgesetzt [Reu+17].





**Abbildung 3.15:** Taktile 3D-Displays

Die Möglichkeiten, komplexere taktile Elemente dynamisch zu präsentieren, sind ebenfalls Gegenstand aktueller Forschung. Taktile 3D-Displays (Shape-Changing Displays), wie *FEELEX* [Iwa+01] (siehe Abbildung 3.15a), *Relief* [Lei+11], *inFORM* [Fol+13] (siehe Abbildung 3.15b) oder *shapeShift* [Siu+17] bieten die Möglichkeit, ihre taktilen Darstellungspunkte in mehreren Höhenstufen anzuheben und damit dreidimensionale Strukturen zu modellieren. Deren Aufbau ist jedoch oft groß und die Auflösung der Aktuatoren recht grob. Diese Displays sind nicht in erster Linie für den Gebrauch durch blinde und sehbehinderte Menschen entwickelt worden. Darum kombinieren einige zur physischen Präsentation eine visuelle Projektion auf die haptische Darstellungsfläche [Fol+13; Iwa+01; Lei+11].

Das 3D-Stift-Display von SHINOHARA, SHIMIZU und MOCHIZUKI hingegen zielt direkt auf blinde Menschen als Zielgruppe [SSM98]. Die einzelnen Stifte des  $64 \times 64$  Bildpunkte großen Displays lassen sich auf bis zu 10 mm anheben. Durch einen regelmäßigen Versatz der Stifte wurden die Abstände zwischen den taktilen Bildpunkten auf etwa 3 mm reduziert, um weichere Übergänge in der dargestellten 3D-Struktur zu ermöglichen. Dadurch ist jedoch jede zweite Bildreihe um einen halben Bildpunkt horizontal in die Lücken der darüber und darunterliegenden Bildreihe verschoben, weshalb kein gleichmäßiges Bildraster mehr entsteht.

Die punkt- beziehungsweise stiftbasierte taktile Darstellung ist derzeit durch den Einsatz von klassischen Braillezeilen gängige Praxis (vergleiche Abschnitt 2.3.1 – *Computerbedienung blinder Menschen*) und technisch ausgereift. Diese auf wenige Zeilen abgestimmten Anzeigegeräte auf großflächige und für die Anzeige von grafischen Inhalten geeignete Formate zu erweitern ist jedoch nicht trivial. Dennoch gibt es einige Geräte, die eine dynamische, mehrzeilige stiftbasierte taktile Anzeige erlauben. Im nachfolgenden Abschnitt werden einige dieser Geräte, die eventuell auch als Anzeigegeräte für die taktile Schnittstelle dieser Arbeit in Frage kommen würden, vorgestellt.

### 3.2.2.2 Taktile Flächendisplays

Punktbasierte Displays haben den großen Nachteil, dass sie den dargestellten Inhalt rastern müssen. Feine geschwungene und runde Formen sind selbst mit hohen Auflösungen sehr schwer darzustellen, ebenso wie sehr kleine Objekte. Dies führt dazu, dass Nutzende solcher Displays die Entstehung von harten, geraden Kanten kritisieren, wo eigentlich keine sein sollten (beispielsweise bei Kreisen) [Swa+16]. Dies kann die Erkennung von dargestellten Informationen erschweren oder verhindern. Im schlimmsten Fall findet eine Verwechslung von semantisch unterschiedlichen Formen statt.

Rasterung als Problem

- Aktuatoren** Die Punkte solcher Displays werden entweder mechanisch [BC12; SSM98; WLH02], pneumatisch [Kin+08; MWF00; Rus+16], hydraulisch [Rus+16; Wil+14], magnetisch [Web89a, S. 83] [Str+10] oder – die am weitesten verbreitete Variante – piezo-elektrisch [Kim+09; VWB08; Yan+06] gesetzt oder gesteuert. Aber auch Formgedächtnislegierungen (*shape memory alloy*) [VPW06], Gele [KTT00] oder Polymere [Cho+04; Koo+08; MLS09] können zur Konstruktion von Punkt-Displays eingesetzt werden.
- großflächig-statische und virtuell-dynamische Systeme** Großflächige taktile Displays sind technisch aufwendig und in ihrer Darstellungsfläche festgelegt. Zur Präsentation veränderlicher taktiler Eindrücke in Verbindung mit flächiger Erkundung kann auch ein kleines aber dafür bewegliches taktils Display genutzt werden, welches so ein deutlich größeres Display simuliert. VIDAL-VERDÚ und HAFEZ treffen dazu eine Einteilung in *virtuell-dynamische* sowie *großflächig-statische* Displays [VH07].

### Virtuell-dynamische taktile Anzeigesysteme

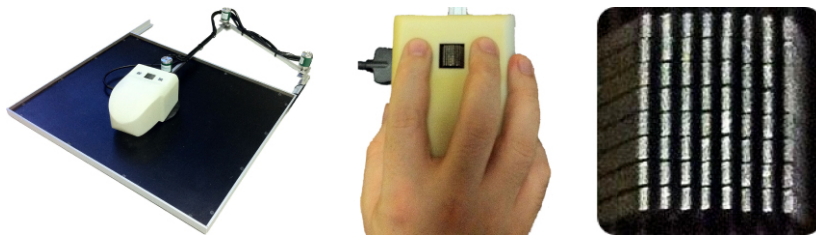
Für virtuell-dynamische Systeme werden meist taktile (stiftbasierte) [HP10a] oder vibro-taktile [Lév+12] Aktuatoren beispielsweise mit einer Computermaus oder einem Stift [KB06; SER05] kombiniert. Die Anzahl der eingesetzten Aktuatoren variiert stark von einem bis mehreren Hundert.

- taktile Mäuse** Im TAMO3 (Tactile Mouse) Projekt von BRAYDA et al. kann ein einzelner Aktuator einen in der Höhe veränderlichen Hebel zur Vermittlung unterschiedlicher Höhenstufen ansteuern [BC12] (siehe Abbildung 3.16b). OWEN et al. kombinieren prototypisch ein einfaches Braille-Modul mit einer klassischen Maus, um damit kostengünstig taktile Informationen in der Fläche zu übertragen [Owe+09]. In der haptischen Maus der *Virginia Commonwealth University* kann ein  $2 \times 4$  Braille-Modul so schnell und hochfrequent angesteuert werden, dass es die Stifte nicht schaffen, vollständig zum Maximum auszufahren, bevor sie wieder zurückgezogen werden [HP10a]. Dadurch entsteht der Eindruck verschiedener Höhenstufen. LÉVESQUE et al. platzieren sogar ein aus  $8 \times 8$  vibro-taktilen Aktuatoren bestehendes Anzeigemodul auf einem mausähnlichen Zeigegerät [Lév+12], um ein größeres Display damit zu simulieren (siehe Abbildung 3.16a).

Die einst kommerziell vertriebene *VTPlayer* Maus kombiniert eine Maus mit zwei taktilen Stiftdisplays. Die Displays sind beide  $4 \times 4$  Punkte groß und so auf der Maus platziert, dass man sie mit dem Zeige- und dem Mittelfinger ertasten kann (siehe Abbildung 3.16c). Die einzelnen Stifte der Displays sind dabei frei ansteuerbar. Die *VTPlayer* Maus wurde beispielsweise in Projekten zur Exploration von Karten [JP05] oder Diagrammen [YKB03; WB06a; WB06b] durch blinde Menschen eingesetzt.

Der Einsatz von Mäusen für blinde Menschen ist allerdings schwierig. Die fehlende visuelle Kontrolle beim Umgang mit dieser Art des Zeigegerätes stellt das Hauptproblem dar, vor allem dann, wenn die Maus versetzt werden muss, um den Interaktionsraum zu vergrößern. Dieses Versetzen passierte blinden Nutzern auch unbeabsichtigt, was zu einer deutlichen Diskrepanz zwischen dem virtuellen und dem gefühlten physischen Interaktionsraum führte [RPK10]. Zudem wurden Displayflächen allgemein als sehr klein bewertet und der damit verbundene Aufwand zur Erkundung und zur Bildung eines mentalen Modells als hoch eingeschätzt.

- großflächiges virtuell-dynamisches System** Durch die kleine taktile Fläche und die ungewohnte Handhabung weisen solche virtuellen Braille-Displays deutlich höhere Fehlerquoten und geringere Effizienz auf als herkömmliche Braillezeilen oder großflächige Displays [Rus+15]. TAKAGI, MORII und MOTOYOSHI versuchen durch die Nutzung eines größeren Stiftdisplays, in Kombination mit einem beweglichem und damit erweiterbarem Anzeigeraum, dieser Kritik entgegenzuwirken und beide Vorteile zu kombinieren. Sie montieren ein  $48 \times 32$  Stifte großes taktils Flächendisplay (DV2 von KGS



a) Latero-taktils Display mit 64 Aktuatoren [Lév+12]



b) TAM03 [BC12]



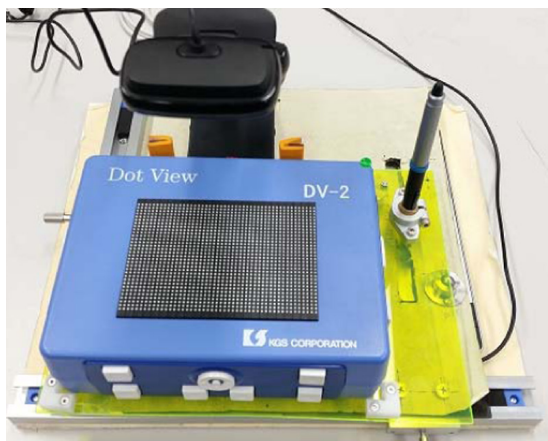
c) VTPlayer [WB06a]

**Abbildung 3.16:** Taktile Mäuse

Corporation, siehe nachfolgender Abschnitt) beweglich auf ein Grafiktablet, sodass man das Display selbst frei vertikal und horizontal verschieben kann [TMM15] (siehe Abbildung 3.17). Dadurch ermöglichen sie es, das taktile Display selbst über den virtuellen Inhalt zu bewegen, anstatt den Inhalt im Display – sie nennen dies physisches Scrolling (*physical scrolling method*).

### Großflächig-statische taktile Anzeigesysteme

Reale flächige taktile Displays sind allein durch die Möglichkeiten zur Unterstützung beidhändigen Arbeitens und Erkundens den virtuellen Systemen überlegen. Dem gegenüber steht jedoch ihr komplexerer technischer Aufbau und die damit, auch beziehungsweise auf den höheren Materialeinsatz, verbundenen Anschaffungskosten. VIDAL-VERDÚ und HAFEZ geben einen detaillierten Überblick über taktile Displays bis zur Mitte der 2000er Jahre [VH07]. Darüber hinaus geben sie Empfehlungen für Eigenschaften von effektiv einsetzbaren taktilen Flächendisplays. Dazu gehört beispielsweise, dass die Anzeigefläche mindestens  $64 \times 48$  Punkte groß und die mögliche Auflösung größer als 5 Punkte pro Zoll – engl. *dots per inch* (dpi) sein sollte. Außerdem weisen sie darauf hin, dass eine Bildsetzzeit von unter zehn Sekunden für effizientes Arbeiten sinnvoll ist.

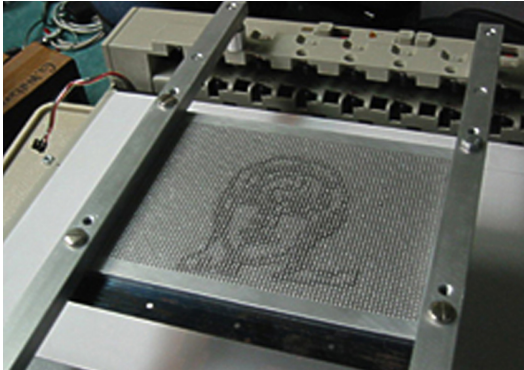

**Abbildung 3.17:**

$48 \times 32$  großes taktiles Flächendisplay auf einem beweglichen Schlitten über einem Grafiktablet montiert [MT17]. Eine Kamera über dem Display soll die Fingerposition zur Interaktion bestimmen können.

Im Folgenden werden einige (großflächig-statische) taktile Flächendisplays kurz in Form von Steckbriefen beschrieben. Dabei wird in erster Linie auf grundlegende Eigenschaften, wie die Größe der Anzeigefläche, die Auflösung und die Bildsetzzeiten der Geräte eingegangen. Die Auswahl der vorgestellten Geräte beschränkt sich dabei auf aktuelle und noch im Gebrauch befindliche Geräte aus der Vergangenheit sowie Geräte, die als Zielplattform für ein digitales Zeichensystem in Frage kommen. Des Weiteren setzen Forschung und Wirtschaft zurzeit einen Schwerpunkt auf die Entwicklung mehrzeiliger taktiler Anzeigegeräte, sodass davon auszugehen ist, dass sich die Verfügbarkeit solcher Geräte in Zukunft verbessern wird. Aus diesem Grund wird ebenfalls ein kurzer Ausblick auf aktuelle Entwicklungen für zukünftige Anzeigegeräte gegeben. Weitere Beispiele taktiler Flächendisplays finden sich im Anhang dieser Arbeit ab Seite 278.



Die Entwicklung zeigt, dass sich die Bauhöhe der Geräte über die Jahre deutlich verändert hat. Dies führt auch dazu, dass der mobile Einsatz solcher flächigen Anzeigesysteme immer mehr in den Fokus rückt. Grundsätzlich sind jedoch zwei Arten von Geräten zu unterscheiden: (1) solche, die (ausschließlich) eine mehrzeilige Anzeige von Braille-Texten und (2) solche, die (zusätzlich) eine grafische Anzeige in äquidistanter Darstellung als Ziel haben. Letztere haben manchmal den Nachteil, dass sie aufgrund zu geringer Auflösung nicht wirklich zur Anzeige von Braille geeignet scheinen. Es zeigen sich darüber hinaus zwei Richtungen für Entwicklungen ab, die sich hauptsächlich auf den derzeit sehr hohen Kosten für solche Geräte und deren Reduktion gründen. Die erste ist die Suche nach einem alternativen Antrieb zu den derzeit häufig eingesetzten, aber teuren piezoelektrischen Aktuatoren. Dabei werden allerdings oft die durch diese Antriebsart ermöglichten, sehr schnellen Bildsetzzeiten deutlich ausgedehnt, was ein schnelles Wechseln von Anzeigen erschwert. Die zweite Richtung setzt (zusätzlich) auf eine Reduzierung der Anzeigefläche, was ebenfalls die Anzahl an Aktuatoren und damit die Kosten senkt. Der Vorteil einer dadurch gesteigerten Mobilität und Kostenersparnis wird durch eine kleine und für komplexe grafische Darstellungen ungeeignete Anzeigefläche begleitet.

<b>NIST Display</b> [Rob04]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 71 × 51 Pins <b>Aktuatorentechnologie:</b> mechanisch (Plotterarm setzt einzelne Punkte) <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild (10 s für einfache Bilder) <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 24 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 10 Zeilen = 240 Zeichen 6-Punkt: 13 Zeilen = 312 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> keine weiteren <b>Anwendungen:</b> Bilder scannen und betrachten	


**Abbildung 3.18:** NIST Refreshable Tactile Graphic Display (Bildquelle *National Institute of Standards and Technology*)

<b>Handytech – GWP (Graphic Window Professional)</b> [MK13, S. 189 f.]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 24 × 16 Pins <b>Aktuatorentechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> < 8 dpi <b>Refreshrate:</b> k. A. (schnell) <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 8 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 3 Zeilen = 24 Zeichen 6-Punkt: 4 Zeilen = 32 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> semi (Akkubetrieben) <b>Steuerelemente:</b> 15 Tasten, u. a. 4 Cursor- und 2 Zoomtasten <b>Anwendungen:</b> Zugang zu <i>Maple</i> (Mathematik) [Alb06], Zugang zu GUIs von <i>Windows</i> und dessen Anwendungen	



**Abbildung 3.19:** GWP (Graphic Window Professional) (Bildquelle *Handytech*)



<b>KGS Co. – DotView 2 (DV-2)</b> [KGS11a; KGS11b]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 48 × 32 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 16 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 6 Zeilen = 96 Zeichen 6-Punkt: 8 Zeilen = 128 Zeichen <b>Verfügbar:</b> k. A.
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> Vier-Wege-Joystick, 6 Fronttasten, 7 seitliche Tasten (auf beiden Seiten des Displays) <b>Anwendungen:</b> Japanisches Schreiben, Zugang zu Mathe und GUIs, Zeichnen, Spiele	
	
<b>Abbildung 3.20:</b> KGS Co. DotView 2 (DV-2) (Bildquelle KGS Co.)	

<b>metec – BrailleDis 7200 (HyperBraille)</b> [Pre14]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 120 × 60 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> 14 Standardtasten, 2 Wippschalter, 2 Cursorkreuze (je 5 Tasten), 1 Navigationsleiste (4 Richtungen mit jeweils 2 Druckstufen), kapazitive Multi-Touch-Sensorik <b>Anwendungen:</b> HyperReader Screenreader für Office und Web, Spiele	
	
<b>Abbildung 3.21:</b> BrailleDis 7200 (HyperBraille) (Bildquelle metec AG)	

<b>metec – HyperBrailles Display 6240</b> [*BBW18c]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 104 × 60 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 35 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 420 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 525 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein	
<b>Steuerelemente:</b> 14 Standardtasten, 2 Wippschalter, 2 Cursorkreuze (je 5 Tasten), 1 Navigationsleiste (4 Richtungen mit jeweils 2 Druckstufen), 10-Finger-Multi-Touch-Sensorik <b>Anwendungen:</b> HyperReader Screenreader für Office und Web, Spiele, Screenreaderanbindung, Mathematiksoftware	

**Abbildung 3.22:** BrailleDis 6240 (HyperBrailles)

<b>metec – Hyperflat</b> [met16a]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 76 × 48 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 25 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 9 Zeilen = 225 Zeichen 6-Punkt: 12 Zeilen = 300 Zeichen <b>Verfügbar:</b> aktuell
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	
<b>Steuerelemente:</b> 8 Standardtasten, Cursorkreuz (je 5 Tasten), 10-Finger-Multi-Touch-Sensorik <b>Anwendungen:</b> Screenreaderanbindung, Mathematiksoftware	




**Abbildung 3.23:** Hyperflat (Bildquelle metec AG)


Bristol Braille – Canute 360 <sup>a</sup>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 80 × 27 Pins	<b>Auflösung:</b> angelehnt an Braille
<b>Aktuatorstechnologie:</b> mechanisch – zwei 3-Punktcoderäder pro Zeichen	<b>Refreshrate:</b> ca. 16 s für eine Seite, ca. 2 s pro Zeile
<b>Grafikfähig:</b> semi	<b>Äquidistant:</b> nein
<b>Braillefähig:</b> 6-Punkt	<b>Anz. Zeichen:</b> 9 Zeilen á 40 Zeichen = 360 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> auf Anfrage
<b>Steuerelemente:</b> 3 Navigationstasten, 9 Zeilen-Selektoren, Help-Button	
<b>Anwendungen:</b> Braille-Kodierung für Dokumente aus Text, Mathematik und Musik	



**Abbildung 3.24:** Canute 360 (Bildquelle Bristol Braille Technology CIC)

<sup>a</sup> Bristol Braille Technology – Canute 360 – Url: <http://www.bristolbraille.co.uk/> – zuletzt besucht Okt. 2019

Tsinghua University – Graille <sup>a</sup>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 120 × 62 Pins <b>Aktuatorstechnologie:</b> mechanisch, 5 Druckköpfe setzen oder löschen jeweils 2 × 4 Pins <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt <b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> Touch-Guidance Interface <b>Anwendungen:</b> Bibliotheken, Onlineshops, Webbrowsing	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen <b>Verfügbar:</b> k.A.





**Abbildung 3.25:** Graille Tactile Display (Bildquelle Tsinghua University)

<sup>a</sup> Xinhua News Agency / Taktiles Grafikterminal –  
Url: <http://xinhua-rss.zhongguowangshi.com/13694/-903312324068689769/5664563.html> – zuletzt besucht Okt. 2019 – auf chinesisch





<b>metec – Tactile2D</b>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 48 × 39 Pins <b>Aktuatorstechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 16 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 8 Zeilen = 128 Zeichen 6-Punkt: 10 Zeilen = 160 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> Prototyp
<b>Steuerelemente:</b> 8 Standardtasten, 10-Tasten Braille-Tastatur, Cursorkreuz (5 Tasten), 10-Finger-Multi-Touch	
<b>Anwendungen:</b> Screenreaderanbindung, Mathematiksoftware, Karten	

**Abbildung 3.26:** metec Tactile2D (Bildquelle metec AG)

<b>Orbit Research and the American Printing House for the Blind (APH) – Graphiti<sup>a</sup></b>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 60 × 40 Pins <b>Aktuatorstechnologie:</b> 4-Level Tactuator  <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt (größer)	<b>Auflösung:</b> ca. 6 dpi <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild (ca. 15 s) <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 20 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 8 Zeilen = 160 Zeichen 6-Punkt: 10 Zeilen = 200 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> noch nicht
<b>Steuerelemente:</b> 15 Buttons (Perkins-style Braille-Keypad + konfigurierbare Steuerknöpfe), Multi-Touch-Sensorik	
<b>Anwendungen:</b> Bilder betrachten und editieren, Dateibetrachter, HDMI-Anschluss erlaubt die Nutzung als taktilen Monitor	





**Abbildung 3.27:** APH / Orbit Research – Graphiti 2 (links, Bildquelle Orbit Research), Ausgabe unterschiedlicher Höhenstufen (rechts, Bildquelle nosillacast – <https://www.youtube.com/watch?v=Mq7tDYJc6d8>)


<sup>a</sup> Graphiti – a Breakthrough in Non-Visual Access to All Forms of Graphical Information – Orbit Research –  
 Url: <https://www.orbitresearch.com/product/graphiti/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<b>Blitab<sup>a</sup></b>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 42 × 39 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> Mikrofluid (?) <b>Grafikfähig:</b> semi <b>Braillefähig:</b> 6-Punkt <b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Auflösung:</b> angelehnt an Braille <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild <b>Äquidistant:</b> nein <b>Anz. Zeichen:</b> 13 Zeilen á 21 Zeichen = 273 Zeichen <b>Verfügbar:</b> noch nicht
<b>Steuerelemente:</b> <b>Anwendungen:</b>	Die untere Hälfte des Blitab ist ein Android-Tablet, das Touch-Eingaben zulässt. Online-Braille-Übersetzung von Text-Inhalten (Web, Dokumente, etc. ), Android-Apps
	
<b>Abbildung 3.28:</b> Blitab Tablet (Bildquelle MIT Technology Review (links), blitab (rechts))	


<sup>a</sup> BLITAB – Feelings get visible – Url: <http://blitab.com/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<b>Tactonom<sup>a</sup></b>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 119 × 89 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> kleine Stahlkugeln <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein	<b>Verfügbar:</b> auf Anfrage
<b>Steuerelemente:</b> <b>Anwendungen:</b>	19 Tasten, Kamera für Touchinteraktion übersetzt Dokumente und Bildschirminhalte in Braille bzw. taktile Anzeigen, Dokumente scannen und anzeigen (OCR)
	
<b>Abbildung 3.29:</b> Tactonom (links) und gesetztes Bild fährt aus dem Gerät zur Ansicht heraus (rechts) (Bildquelle Inventivio GmbH)	

<sup>a</sup> tactonom – The tactile graphics display – Url: <http://www.tactonom.com/> – zuletzt besucht Okt. 2019

<b>Dot Incorporation – Blindpad<sup>a</sup></b>	
<b>Anzeige­fläche (B × H):</b> 72 × 36 Pins (?)	<b>Auflösung:</b> angelehnt an Braille
<b>Aktuator­tech­no­lo­gie:</b> elektrodynamische Zellen	<b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild (ca. 6 s)
<b>Grafikfähig:</b> semi	<b>Äquidistant:</b> nein
<b>Braillefähig:</b> 6-Punkt	<b>Anz. Zeichen:</b> 12 Zeilen á 36 Zeichen = 432 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> in der Entwicklung
<b>Steuerelemente:</b> diverse Steuerelemente (7 ?)	
<b>Anwendungen:</b> k. A. (Text und Grafik)	
	
<p><b>Abbildung 3.30:</b> Blindpad Multiline Prototype 2 (Bildquelle <i>Dot Incorporation</i>)</p>	

<sup>a</sup> Dot Incorporation Webseite – Url: <https://www.dotincorp.com/>

<b>Blindpad / EPFL Keep in Touch (KiT) [Zar+17]</b>	
<b>Anzeige­fläche (B × H):</b> 16 × 12 Pins	<b>Auflösung:</b> ca. 3 dpi
<b>Aktuator­tech­no­lo­gie:</b> elektromagnetisch	<b>Refreshrate:</b> ca. 0,5 Hz
<b>Grafikfähig:</b> ja	<b>Äquidistant:</b> ja
<b>Braillefähig:</b> nein	<b>Anz. Zeichen:</b> –
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> Prototyp
<b>Steuerelemente:</b> k. A.	
<b>Anwendungen:</b> Karten, Formen, Spiele	
	
<p><b>Abbildung 3.31:</b> Blindpad / EPFL Keep in Touch (KiT) Displays (Bildquelle <a href="https://www.blindpad.eu/">https://www.blindpad.eu/</a>)</p>	

### 3.3 Methoden und Werkzeuge zur Erstellung zugänglicher Grafiken

In diesem Abschnitt soll ein grober Überblick über die Möglichkeiten zur Bereitstellung und Erzeugung taktiler Inhalte gegeben werden. Viele der vorgestellten Methoden und Werkzeuge sind gleichermaßen von sehbehinderten und sehenden Nutzenden anwendbar. Dennoch ist bei manchen Methoden die Praktikabilität für sehbehinderte Menschen eingeschränkt oder es besteht die Möglichkeit, sich bei deren Einsatz selbst zu verletzen, weshalb sie seltener bis gar nicht praktiziert werden. Gängige Methoden und Techniken von sehbehinderten Menschen werden in Abschnitt 3.3.1.2 nochmals separat aufgegriffen.

Autoren erstellen nicht nur rein grafische Inhalte. Die Anreicherung von taktilen Grafiken mit weiterführenden textuellen Informationen (Annotationen) erhöht den Grad an Semantik und unterstützt zudem den Aufbau des mentalen Modells [AT00; KL01]. Dabei macht es keinen Unterschied, ob die Inhalte als fühlbarer Braille-Text direkt oder via auditiver Ausgabe nach entsprechender Interaktion bereitgestellt werden. Für solche audio-taktilen Medien sind allerdings meist spezielle Systeme zum Betrachten und Erschließen der auditiven Inhalte notwendig, welche in Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten* vorgestellt werden.

Wie schon bei den taktilen Medien (vergleiche Abschnitt 3.2) – also den Ziel- oder Präsentationsmedien – lässt sich auch bei den Werkzeugen zur Erzeugung der damit dargestellten Inhalte zwischen analogen beziehungsweise manuellen Methoden und solchen mit Rechnerunterstützung unterscheiden.

#### 3.3.1 Manuelle Methoden

Neben der Notwendigkeit zur Bereitstellung taktiler Grafiken für blinde Menschen haben diese selbst nicht nur die Pflicht, sondern auch das Verlangen nach einem eigenen bildlichen Ausdruck, dem sie bereits heute nachkommen. Im Folgenden sollen die derzeit gängigen Methoden zum Zeichnen durch sehende sowie sehbehinderte Menschen beschrieben werden. Diese Methoden und Werkzeuge sind dabei meist manueller und analoger Natur. Dies hat den großen Nachteil, dass sie durch sehbehinderte Menschen oft nicht oder nur schwer korrigierbar, reproduzierbar oder verteilbar sind.

EDMAN gibt in ihrem Werk einen umfassenden, wenn auch nicht mehr ganz aktuellen, Überblick über Methoden und Materialien für taktile Grafiken und deren Einsatz [Edm92]. Allgemein lässt sich sagen, dass alles, was fühlbare Strukturen erzeugen kann, auch zur Darstellung taktiler Inhalte genutzt wird. Die nachfolgende Zusammenfassung stellt somit nur einen Überblick über gängige und weit verbreitete Methoden dar und erhebt dabei nicht den Anspruch der Vollständigkeit.

Nach einem allgemeinen Überblick über Techniken, die hauptsächlich von sehenden Grafikautoren genutzt werden, sollen auch solche Methoden vorgestellt werden, die bei sehbehinderten Menschen verbreitet sind. Dabei geht es nicht um das einfache blinde Zeichnen von visuellen Bildern mit Stift und Papier. Es werden Methoden betrachtet, die es einer sehbehinderten Person ermöglichen, das gezeichnete Bild selbst wieder taktil zu erfahren und zu kontrollieren.



### 3.3.1.1 Allgemeine manuelle Methoden

Formal kann man zwei Arten von taktilen Produktionsmethoden unterscheiden: *Positive* und *negative* Methoden. Bei den *positiven* Methoden werden taktile Strukturen erhaben auf das Trägermedium aufgebracht. Dies gilt beispielsweise für die Erstellung von Kollagen. Bei *negativen* Methoden werden die Strukturen nach unten in das Medium als Vertiefungen eingebracht. Die *negativen* Methoden lassen sich nochmals in zwei weitere Gruppen unterteilen. In der ersten Gruppe werden die eingravierten Vertiefungen selbst als taktiler Eindruck verstanden. Gängige Beispiele hierfür sind das Kratzen von fühlbaren Strukturen in Holz, Plastikplatten, Ton oder Ähnliches. Bei der zweiten Gruppe führen die negativen Prägungen zu erhabenen Strukturen auf der Rückseite, welche als die tatsächlichen taktilen Eindrücke zur Darstellung genutzt werden. Hier besteht die Herausforderung darin, dass man seine intendierte Darstellung um die Vertikale gespiegelt eindrücken muss, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten (*negativ-gespiegelt*). Dies stellt eine enorme geistige Herausforderung dar, die ein gutes räumliches und bildliches Vorstellungsvermögen voraussetzt, was gerade bei geburtsblinden Menschen weniger trainiert sein kann [Fuj+10]. Ein Beispiel für eine solche Methode ist das Prägen von Papier mit einem Griffel, wie es beim händischen Schreiben von Braille mittels Schablone (siehe Abbildung 3.35 auf Seite 63) gängige Praxis ist (vergleiche Abschnitt 3.1).

positive und negative taktile Zeichenmethoden

Wie in Abschnitt 3.2.1 angedeutet ist das Erstellen von Kollagen aus verschiedensten Materialien eine der gängigsten, weil vielfältigsten, Möglichkeiten zur Gestaltung fühlbarer bildlicher Inhalte. Diese Methode ist zwar teilweise aufwendig, bietet aber auch großen Gestaltungsspielraum und hohen Detailgrad. Für Linienbilder werden beispielsweise oft Fäden und Ähnliches, auf ein Trägermedium geklebt (siehe Abbildung 3.33 auf Seite 62). Knoten in den Schnüren erlauben das einfache Markieren von Punkten.

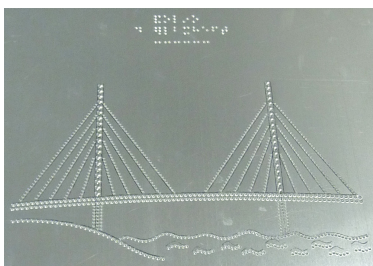
Kollagen

Sollen taktile Grafiken in großen Stückzahlen reproduziert werden oder unterliegen sie durch häufiges Lesen starken Belastungen, wird oft auf das Tiefziehverfahren für Relieffolien zurückgegriffen (siehe Abschnitt 3.2.1 – *Statisch-taktile Medien*). Der dazu notwendige Master kann durch Handarbeit als stabile Kollage erstellt und danach abgeformt werden.

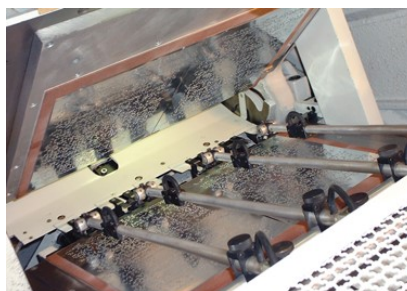
Tiefziehen

Für Punkt-Grafiken auf Papier, zum Beispiel für Braille-Bücher oder -Zeitschriften, wird eine entsprechende Druckvorlage benötigt. Diese kann zum Beispiel in Prägeplatten punziert werden. Dazu werden in ein Paar Metallplatten Punkte eingeprägt (siehe Abbildung 3.32 a). Wird ein Blatt Papier dazwischengeschoben und die Platten zusammengepresst, übertragen sich die Vertiefungen und Erhebungen auf das Papier (siehe Abbildung 3.32 b). Diese Druckplatten werden für Grafiken oft manuell hergestellt. Die Grafiken werden punktwise in die Platten übertragen – eine Fehlerkorrektur ist nach dem Einprägen in die Metallplatten nicht mehr möglich.

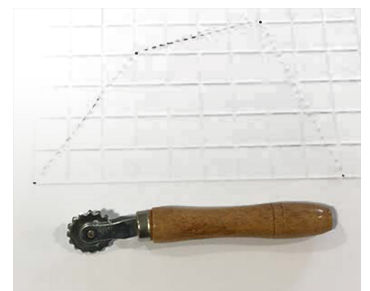
Punzieren



a) Punzierte Prägeplatte mit Hängebrücke



b) Presse zum Prägen von Papier zwischen zwei punzierten Metallplatten (Bildquelle DZB Leipzig)



c) Kopiererrädchen zum Prägen von Linien nach [oRoy20]

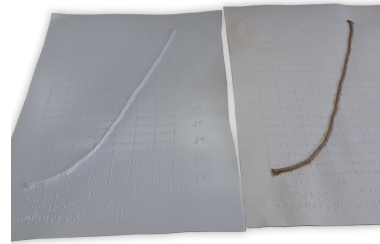
**Abbildung 3.32:** Punziverfahren und Kopiererrädchen zum Prägen taktiler Grafiken



a) Strandszenerie – Kollage aus verschiedenen Materialien



b) Auto – Kollage aus Unterlegscheiben und Karton



c) Funktionsgraph als Schnur auf Plastikfolie geklebt und entsprechende Tiefziehabformung

**Abbildung 3.33:** Beispielbilder von blinden Personen, die als Kollagen erstellt wurden

**Kopierrädchen** Weit verbreitet ist auch der Einsatz von sogenannten Kopierrädchen (siehe Abbildung 3.32 c). Diese rundherum mit kleinen Zähnen versehenen Rädchen mit Griff werden ursprünglich im Schneiderhandwerk zur Übertragung von Schnittmustern verwendet. Nutzt man diese auf Papier, drücken sich die Zähnnchen in oder durch das Papier und erzeugen so fühlbare regelmäßig gepunktete Linien auf der Rückseite. Man erzeugt damit also gespiegelte Bilder. Das Kopierrädchen ist somit den negativ-gespiegelten Techniken zuzuordnen.

Ausgenommen der Kollagen beziehungsweise der Techniken, die für eine Vervielfältigung in großen Stückzahlen geeignet sind, werden die meisten der hier angesprochenen Methoden meist zur direkten bildlichen Kommunikation mit sehbehinderten Menschen eingesetzt. Ihre unkomplizierte, schnelle und günstige Natur ermöglicht es, sehr flexibel grafische Elemente fühlbar darzustellen. Soll dabei auch eine sehbehinderte Person selbst aktiv einbezogen werden, wird auf die im folgenden Abschnitt beschriebenen Methoden zurückgegriffen.

### 3.3.1.2 Spezielle manuelle Methoden für sehbehinderte Menschen

Die Notwendigkeit zum Umgang mit Grafiken im Rahmen der schulischen Ausbildung führt dazu, dass viele blinde und sehbehinderte Kinder in Kontakt mit einfachen Zeichenmethoden kommen. Auch bei der Nutzergruppe der blinden und sehbehinderten Menschen gilt, was praktikabel und zielführend für die Erzeugung fühlbarer Abbildungen ist, wird auch genutzt (siehe Beispiele aus Abbildung 3.33). Darunter fallen theoretisch auch alle Methoden aus dem vorangegangenen Abschnitt 3.3.1.1. Jedoch sind die meisten blinden Grafikautoren auf andere Hilfsmittel angewiesen, die ihnen mehr Unterstützung, bessere Handhabbarkeit oder geeignetere taktile Referenzen bieten.

**Braille-Bilder** Das „Schreiben“ von taktilen Bildern mittels Punktschrift ist eine kostengünstige und gängige Methode. Dabei werden in Papier oder Plastikfolien Punktgrafiken aus 6 oder 8-Punkt Braille-Zeichen zeilenweise zusammengesetzt (siehe Abbildung 3.34). Diese können per Hand (Griffel – siehe Abbildung 3.35 a), mit einer Braille-Schreibmaschine oder über einen Braille-Drucker erzeugt werden. Die Methode erfordert jedoch vom Autor ein hohes Maß an bildlichem Vorstellungsvermögen, Vorausplanung und damit mentaler Anstrengung.

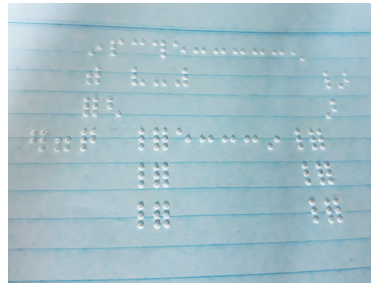
Für das Problem des negativen und gespiegelten Zeichnens beim manuellen Prägen von Punktbildern gibt es ein Werkzeug, welches anstatt eingedrückter Punkte erhabene Punkte erzeugt. Der *Swail Dot Inverter* von APH<sup>9</sup> (siehe Abbildung 3.35 b) stößt sich – auf einer Gummimunterlage angewendet – beim Eindrücken durch das Papier und zieht beim Herausziehen einen Punkt nach oben.

<sup>9</sup> American Printing House for the Blind, Inc. – zuletzt besucht Juni 2019 –

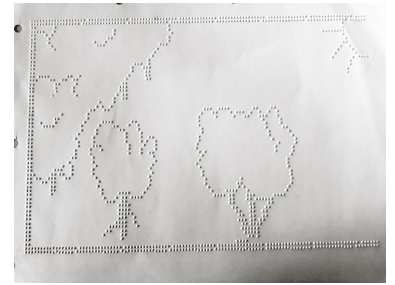
Url: [https://shop.aph.org/webapp/wcs/stores/servlet/Product\\_Swail%20Dot%20Inverter\\_33494P\\_10001\\_11051](https://shop.aph.org/webapp/wcs/stores/servlet/Product_Swail%20Dot%20Inverter_33494P_10001_11051)



a) taktile Memory-Karten – abstrakte Formen mit Braille-Schreibmaschine auf Plastikfolie geschrieben



b) Elefant mit Braille-Schreibmaschine auf Karteikarte geschrieben



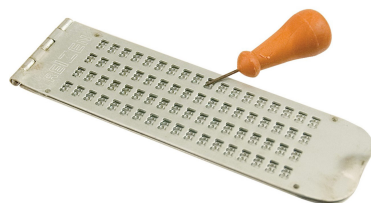
c) Landschaft mit Bäumen und Sträuchern – äquidistant in 8-Punkt-Braille geschrieben

**Abbildung 3.34:** Beispielbilder von blinden Personen, die in Braille geschrieben wurden

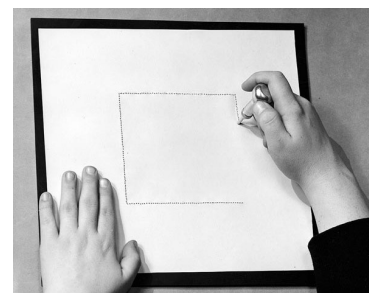
Im Schulunterricht müssen auch sehbehinderte Schüler Aufgaben der Geometrie lösen. In Geometriekästen für blinde Menschen befinden sich dafür spezielle Werkzeuge zum Eindrücken oder Gravieren von Rillen, beispielsweise ein Zirkel (siehe beispielsweise 3.36 a). Lineale oder Winkelmesser sind mit fühlbaren Markierungen versehen, die zum Messen abgezählt werden können. Mit einem Gravierwerkzeug oder Stift werden dann tiefere Linien gezogen. So können Bilder als negativ oder später umgedreht als negativ-gespiegelt erstellt werden. Geometriekästen

Für solche und andere Aufgaben gibt es auch eine Reihe an positiven Zeichenmethoden. Weit verbreitet ist zum Beispiel das Spannen von (Gummi-)Bändern zwischen, auf eine Trägerplatte gesteckte, Nadeln [MPM12; MB06] (siehe Abbildung 3.36 b). Diese einfache Methode ermöglicht es, Bilder aus geraden Linien oder Linienzügen zu erstellen. Diese können unter anderem für einfache geradlinige geometrische Formen, Liniendiagramme und Approximationen von Funktionsgraphen genutzt werden. Ein unterlegtes Referenzraster erleichtert die Platzierung der Nadeln, die als Knotenpunkte zwischen den Linien dienen. Diese Methode bietet im Nachgang die Möglichkeit, die aufgebaute Grafik zu korrigieren oder zu ergänzen. Der Umgang mit den Nadeln und den dazwischen gespannten Bändern ist jedoch diffizil, da Bänder und Nadeln sich leicht und unabsichtlich lösen und verschieben können [Ram+00]. Zudem lässt sich das Bild nicht persistent archivieren oder verteilen. Gummis und Nadeln

Ein punktbasiertes Loch-Matrix-Brett (*Arithmetic Slate*) wird in Indien weit verbreitet zum Lehren von Geometrie und Mathematik eingesetzt [BS19]. Hierbei werden Metallstifte, die unterschiedliche taktile Stimuli repräsentieren können (Punkte oder Liniensegmente), reversibel in der Lochmatrix platziert [CAA18] (siehe Abbildung 3.37 a). Auch der Einsatz von matrixbasierte Stecksysteme



a) 6-Punkt-Braille Matrix und Griffel zum manuellen Stechen von Braille-Zeichen in negativer Form (Bildquelle Reizen)

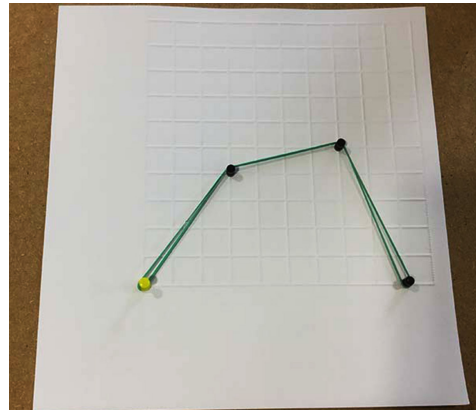


b) Swail Dot Inverter als Werkzeug zum Ziehen von erhabenen Punkten (Bildquelle APH)

**Abbildung 3.35:** Hilfsmittel zum manuellen Prägen von Punkten in Papier



a) GEOMKIT Geometriekasten zum taktilen Zeichnen auf Zeichenfolie von ANUPAM KUMAR GARG



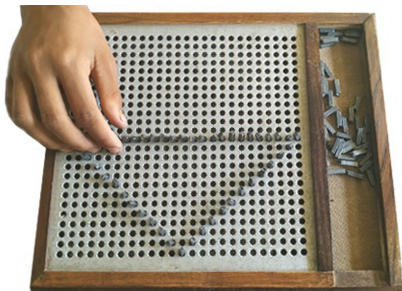
b) Korkplatte mit Nadeln und gespanntem Gummiband auf taktilem Referenzraster [oRoy20]

**Abbildung 3.36:** Taktile Hilfsmittel für den Geometrie- und Mathematikunterricht

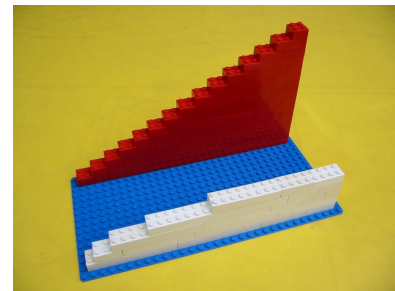
Klemmbausteinen (z. B. *Lego*) ist ein sehr gut geeignetes Mittel, fühlbare Darstellungen zu gestalten (siehe Abbildung 3.37 b). Dabei können neben flächigen Bildern, die mehreren Höhenstufen zeigen können auch dreidimensionale Objekte erstellt werden. Natürlich lassen sich solche Darstellungen auch leicht verändern und erweitern.

Wenn nicht nur gerade Linien oder Standardformen, sondern geschwungene oder komplexe Formen gezeichnet werden sollen, sind Methoden zum Freihandzeichnen gefordert. Spezielle Zeichenfolien in Verbindung mit einem entsprechenden Zeichenbrett als Rahmen und Unterlage erfreuen sich vor allem im schulischen Kontext großer Beliebtheit. Die Zeichenfolie wird oft in einem Rahmen festgespannt, der eine feste aber trotzdem flexible Unterlage aus Gummi, Schaumstoff oder Kork besitzt. Die auswechselbare Zeichenfolie wird darüber platziert und mit Druck über einen Stylus oder Stift bearbeitet (siehe Abbildung 3.38). Der angewendete punktuelle Druck und die Zugbewegung des Schreibgerätes bringen die Folie dazu, sich darunter „aufzuriffeln“. Dies erzeugt einen permanenten erhabenen taktilen Eindruck in der Folie. Mit diesen Folien ist es einfach, schnell und relativ kostengünstig möglich, Freihandzeichnungen und Schrift taktil zu erzeugen. Die Nutzung eines farbigen Stiftes ermöglicht sogar die einfache Zusammenarbeit mit einem sehenden Gegenüber.

Die unmittelbar erzeugten fühlbaren Linien sind einer der großen Vorteile dieser Methode, da sie das bimanuelle Arbeiten unterstützen und eine direkte Kontrolle des Gezeichneten erlauben. Zeichenfolien mit eingepprägten Hilfsrastern unterstützen zusätzlich bei der Orientierung



a) Arithmetic Slate – Lochmatrix mit einsteckbaren Metallblöcken mit verschiedenen taktilen Markierungen auf der Oberseite [BS19]



b) Taktiles Diagramm aus Klemmbausteinen [oApe10]

**Abbildung 3.37:** Beispiele matrixbasierter taktiler Hilfsmittel





**Abbildung 3.38:** Taktile Zeichenfolie – Werkzeuge und Beispiel

und beim Abtragen konkreter (Daten-)Werte. Viele Zeichenbretter bieten zudem eine Reihe von Hilfsmitteln zum Umgang mit den Zeichenfolien und zur Konstruktion von geometrischen Formen an. Dies können spezielle Lineale, Winkel und Kreisschablonen sein. Natürlich ist auch das Umfahren und Abpausen von Objekten mit dieser Methode möglich. Durch die flexible Unterlage der meisten Zeichenbretter lassen sich zudem Nadeln als Referenzpunkte durch die Zeichenfolie stechen.

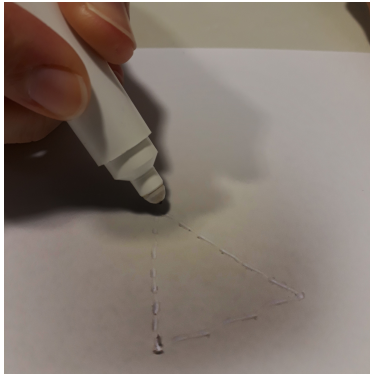
Der geübte Umgang mit einem Stift ist dabei allerdings Voraussetzung für eine gute Handhabung. Diese Fähigkeit besitzt jedoch nicht jeder blinde Mensch, da der Umgang mit Stift und Papier – ausgenommen beim Leisten einer Unterschrift – eher eine Ausnahme darstellt. Gerade geburts- oder früherblindeten Kindern fällt der Umgang mit Stiften schwer. Wie bei vielen anderen hier beschriebenen Methoden ist die Korrektur von Fehlern oder das nachträgliche Abändern schwierig, da die taktilen Strukturen persistent in die Folie eingebracht sind. Ein Werkzeug, ähnlich einem kleinen Bügeleisen in Form eines dicken Stiftes, soll es ermöglichen, die Folien im Nachgang wieder zu glätten, um fehlerhafte Linien zu entfernen [oEAS14] (siehe Abbildung 3.38 b).

Neuerdings lassen sich die Zeichenfolien auch automatisiert beschreiben. Dabei wird ein Plotterarm dazu benutzt, eine Stiftspitze mit Druck über die Zeichenfolie zu führen und so das taktile Linienbild zu erzeugen (siehe Abbildung 4.21 c in Abschnitt 4.2 – *Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten* auf Seite 104).

Auch Schwellpapier lässt sich zum Freihandzeichnen nutzen. Da das Papier auf Hitze reagiert, die im Normalfall durch eine Wärmelampe in das Papier eingebracht wird (vergleiche Abschnitt 3.2.1), kann diese auch mit einem Heizstift appliziert werden (siehe Abbildung 3.39 a). Der Stift wird mittels Strom an der Spitze erhitzt, was anschließend entweder dazu genutzt wird, Schwellpapier zum Anschwellen anzuregen oder Plastik(-Folien) anzuschmelzen. Da die Stiftspitze heiß ist, kann es beim Umgang damit leicht zu Verletzungen kommen.

Eine relativ neue Methode zum Freihandzeichnen stellen manuelle 3D-Druck-Stifte, wie der 3Doodler<sup>10</sup>, dar. Diese schmelzen, ähnlich wie 3D-Drucker, Plastikfilament auf und leiten dieses aus der Stiftspitze nach außen, wo es an der Luft schnell abkühlt und damit feste Strukturen bildet (siehe Abbildung 3.39 b). Auf Folien aufgebracht lassen sich so taktile Strukturen und Objekte aus Kunststoff erstellen.

<sup>10</sup> 3Doodler Intl – Url: <https://the3doodler.com/> – zuletzt besucht Nov. 2019



a) Heizstift zum Erzeugen taktiler Strukturen auf Schwellpapier oder in Plastikfolien



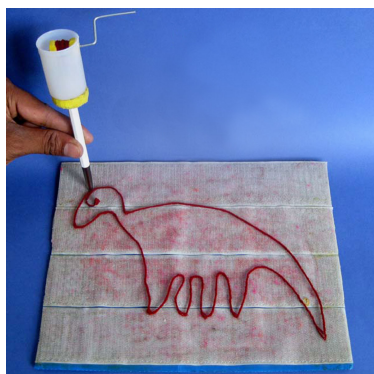
b) 3Doodler – manueller Filament-Stift zum Erstellen von 3D-Strukturen (Bildquelle 3Doodler Intl)

**Abbildung 3.39:** Stifte mit heißen Spitzen zum Freihandzeichnen von taktilen Strukturen

**Wollfäden auf Klettverschluss** Das Aufkleben von (Woll-)Fäden zur Erzeugung von Linien im Rahmen der Gestaltung von Kollagen ist gängige Praxis. Aufgrund von Trocknungszeiten ist dies für blinde Menschen jedoch oft schwer zu handhaben, da der Gestaltungsvorgang unterbrochen wird oder die Zeichnung unbeabsichtigt verändert wird. GUPTA et al. erfanden einen einfachen Zeichenstift, der einen Wollfaden auf eine mit Klettverschluss beklebte Zeichenfläche abrollt und dort haften bleibt [oGup07] (siehe Abbildung 3.40 a). Dies ermöglicht es, schnell Freihandzeichnungen zu erzeugen. Der Faden lässt sich einfach wieder von der Zeichenfläche lösen und aufrollen, sodass Linienzeichnungen auch im Nachgang noch verändert werden können. Die Zeichnung muss jedoch aus einem einzigen Linienzug bestehen. Das Abheben und wieder Aufsetzen des Stiftes ist nicht einfach möglich.

**Formenkästen** Deutlich mehr Unterstützung bei der Konstruktion von Grafiken gegenüber dem vollständig freien Zeichnen, bieten sogenannte Grafik- oder Diagramm-Kits (Formenkästen). Diese ermöglichen es, auf einem Trägermedium (Stoff für Klettverschluss, Metall für Magnete, Kork oder Gummi für Nadeln, etc.) vorgefertigte Basisformen zu komplexeren Grafiken zusammenzusetzen – ähnlich der klassischen Kollage (siehe Abbildung 3.40 b). Die einzelnen Formen lassen sich frei kombinieren, platzieren und verschieben.

**Verbreitung der Zeichentechniken** In Abbildung 3.41 zu einer 2014 durchgeführten Befragung ist zu entnehmen, dass das Arbeiten mit taktilen Zeichenfolien – auch aufgrund der Einfachheit und guten Verfügbarkeit – am



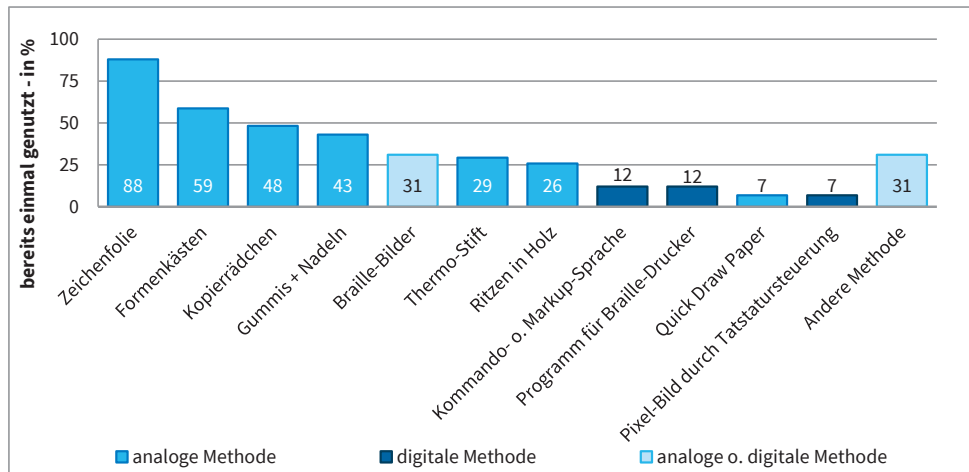
a) Wollfadenstift für Klettverschluss-Zeichenbrett [oGup07]



b) Picture Maker-Wheatley Tactile Diagramming Kit – Formenkasten mit Plastikformen mit Klettverschluss für Trägerplatte (Bildquelle APH)

**Abbildung 3.40:** Reversible taktile Grafiktechniken auf Klettverschluss-Basis

weitesten verbreitet ist. Danach werden vor allen Dingen eher altbekannte und konventionelle Techniken genannt. Neuartige oder technisch aufwendige Methoden zum nicht-visuellen Zeichnen, welche zum Teil erst in Abschnitt 4.2 – *Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten* vorgestellt und detailliert analysiert werden, haben noch nicht flächendeckend den Weg zu den Betroffenen gefunden.



**Abbildung 3.41:** Verbreitung und Nutzung von Methoden zur selbständigen Erstellung von Grafiken durch blinde und sehbehinderte Autoren (n = 58) nach [\*PBW14]

### 3.3.2 Digitale Editoren für zugängliche Grafiken

Zur Erzeugung digitaler Grafiken, die anschließend als statisch-taktil Medium produziert oder zur Anzeige auf einem dynamischen Display genutzt werden, sind natürlich rechnergestützte Werkzeuge im Einsatz. Neben professionellen Bildbearbeitungsprogrammen werden auch klassische Office-Produkte, wie Textverarbeitungsprogramme (*MS Word*, etc.), Tabellenkalkulationsanwendungen (*MS Excel*) oder Präsentationsprogramme (*MS PowerPoint*) und Ähnliches zur Erstellung von Materialien für und durch blinde Menschen genutzt [Bal+13; \*PBW14]. Die daraus entstehenden Bilder werden meist auf grafikfähigen Prägedruckern oder als Schwellpapier (siehe Abschnitt 3.2.1 – *Statisch-taktile Medien*) produziert.

visuelle  
Grafikeditoren

Die Möglichkeit, Bilder auf normalen Braille-Druckern auszugeben, setzt voraus, dass die Grafiken für ein entsprechendes Punktraster optimiert werden. Editoren, wie der *HBGraphicsExchange* von TARAS [Tar11] oder die Methodik des Schreibens von Bildern als (Braille-)Texte [MC10] ermöglichen das manuelle Erstellen solcher punktbasierten Bilder. DIAS et al. entwickelten die Software *Print-to-Braille Converter* zur Umsetzung von Bilddateien in Braille-Buchstaben, um diese dann auf klassischen (und damit erschwinglicheren) Braille-Druckern als taktile Binär-Grafiken auszugeben [Dia+10]. Auch das Programm *BrlGraphEditor* von BATU-SIC und URBAN [BU02] zielt speziell auf die Erstellung von Grafiken mittels konventioneller Braille-Drucker ab – entweder mittels automatischer Umsetzung eines Bildes oder durch manuelles Zeichnen.

Bilder als  
Braille-Druck

Viele taktile Prägedrucker, ob nun für Brailleschrift oder grafikfähig, werden mit einer eigenen, speziell dafür ausgelegten Grafiksoftware ausgeliefert (siehe Abbildung 3.42). Diese dient zur Unterstützung von sehenden Autoren und sorgt dafür, dass die Möglichkeiten des zugehörigen Druckers auch ausgenutzt werden können (vergleiche hochauflösende taktile Prägedrucker in Abschnitt 3.2.1). Beispiele für solche speziell auf taktile Drucker abgestimmte

Grafiksoftware für  
taktile Drucker

Grafikeditoren sind die Produkte von *ViewPlus*<sup>11</sup> mit dem *IVEO Creator* beziehungsweise *IVEO Author Pro* [oWag05] und der *Tiger Software Suite* mit dem *Tiger Designer*<sup>12</sup>, *Picture Braille* von *Pentronics*<sup>13</sup>, *QuickTac* von *Duxbury Systems*<sup>14</sup> oder *EDEL-plus*<sup>15</sup> [Fuj+08].

Diese Editoren setzen meist auf *Drag & Drop* basiertes Platzieren von Formen, die im Nachgang manipuliert und angepasst werden. Formen und Flächen können zudem mit verschiedenen Punktmustern versehen werden. Eine Vorschau, wie das taktile Ergebnis im Punkt-Druck aussieht (vergleiche Abbildung 3.42 a, b und e), gibt Hinweise über mögliche Darstellungsprobleme. Die meisten Programme bieten darüber hinaus Möglichkeiten zum Schreiben von Texten in Braille oder als taktile Schwarzschrift. Die Ausgabe beziehungsweise Verteilung der finalen Bilder kann entweder als taktile Ausdruck auf einem kompatiblen Prägedrucker, als proprietäres Bildformat oder als Pixelbild erfolgen. Einige Editoren, wie *Picture Braille*, ermöglichen auch die semiautomatische Umsetzung von Pixelbildern in binäre Darstellungen durch Anwendung verschiedener einstellbarer Bildverarbeitungsfilter, wie Kontrast- oder Helligkeitsschwellen, Farbfilter oder Kantendetektoren (siehe Abbildung 3.42 e).

automatisierte Transkription	Semi- oder vollautomatische Transkription – abseits vom naiven Ansatz der Übersetzung von Bildpunkten in taktile (Bild-)Punkte – wurde bereits für Karten und Gebäudepläne [Bro+12] sowie für verschiedene Arten von technischen Grafiken [Jay+07] und Diagrammen versucht. Der Grad der Automatisierung bei der Transkription von visuellen zu taktilen Bildern kann durch den Einsatz von Mustererkennung und Machine Learning (maschinelles Lernen) weiter erhöht werden [Lad+05; Jay+07]. So lässt sich beispielsweise Text automatisiert aus Grafiken herausfiltern (siehe Abbildung 3.42 d). Der Zeitaufwand zur Überführung der Grafiken eines Dokumentes – wie eines Lehrbuches – soll damit deutlich verkürzt werden.
audio-taktile Editoren und SVG	Programme zur Erstellung audio-taktile Inhalte setzen meist auf die Erstellung und Bearbeitung von Vektorgrafiken, beispielsweise im Format Scalable Vector Graphics (SVG) [GB06] (siehe beispielsweise Abbildung 3.42 c). Der objektorientierte Ansatz – also die Repräsentation eines grafischen Elements als eigenständiges, veränderbares und wiedererkennbares Objekt – macht Annotation und Interaktion auf solchen Bilddateien möglich. Das auf Extensible Markup Language (XML) basierende SVG-Dateiformat erlaubt es, einzelne (atomare) Formen zu größeren Gruppen zusammenzufassen und diese damit auch semantisch zu gruppieren. Zudem können jedem Element durch zwei spezielle Attribute ( <b>Title</b> und <b>Description</b> ) textuelle Informationen hinzugefügt werden, welche sich beispielsweise durch Nutzerinteraktion wieder abrufen lassen. Audio-taktile Bildbetrachter, wie das <i>TTT</i> [LG01; oTou16] oder <i>IVEO</i> [GB06] (siehe Abschnitt 4.1 – <i>Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten</i> ), setzen auf diesen zweistufigen Ansatz zur Annotation von Elementen in ihren taktilen Bildauflagen. Autorenprogramme für diese Systeme [oTou08] bieten neben der Bearbeitung von SVG-Bildern eben diese Optionen zur Erweiterung einzelner Grafikelemente durch Text oder Ton. Die Grafiken selbst müssen dann als taktile Ausdrücke produziert werden.
Verweis digitale Editoren für blinde Nutzende	Neben den in diesem Abschnitt erwähnten Systemen, die in erster Linie für sehende Nutzende ausgelegt sind, aber teilweise auch via Screenreader zugänglich sein sollen, existieren eine Reihe von Anwendungen, die speziell sehbehinderte und blinde Nutzende direkt adressieren. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit diesen Systemen findet sich im anschließenden Kapitel 4 – <i>Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen</i> .

<sup>11</sup> ViewPlus Webseite – Url: <https://viewplus.com/>

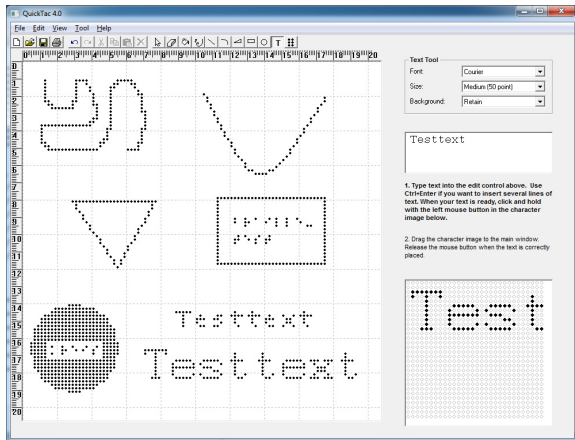
<sup>12</sup> Tiger Software Suite (TSS) – Url: <https://viewplus.com/product/tiger-software-suite/> – zuletzt besucht Aug. 2019

<sup>13</sup> PictureBraille – Url: [http://www.pentronics.com.au/index\\_files/PictureBraille.htm](http://www.pentronics.com.au/index_files/PictureBraille.htm) – zuletzt besucht Juli 2019

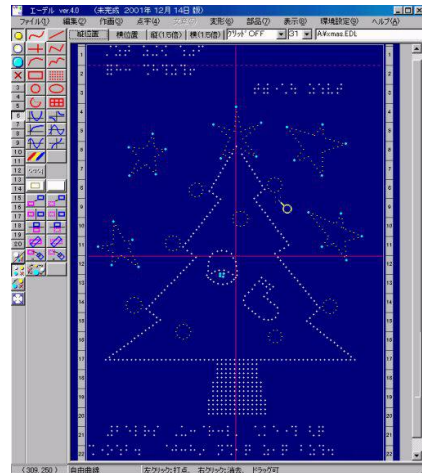
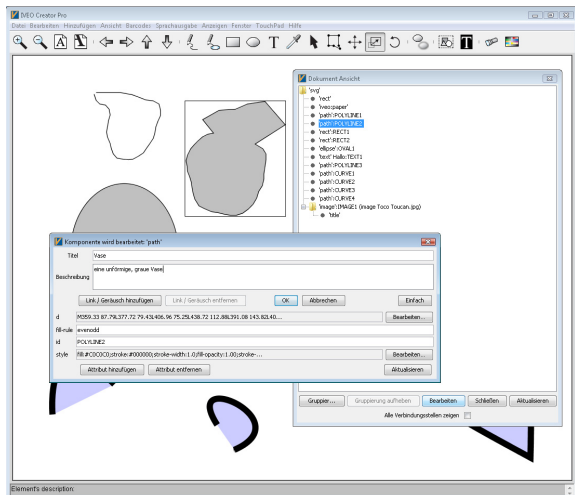
<sup>14</sup> Product Info: QuickTac –

Url: <https://www.duxburysystems.com/product2.asp?product=QuickTac&level=free&action=pur> – zuletzt besucht Aug. 2019

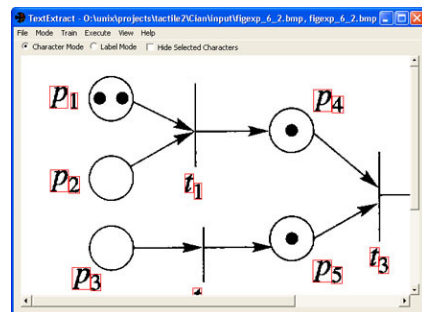
<sup>15</sup> EDEL-plus Webseite – Url: <http://www7a.biglobe.ne.jp/~EDEL-plus/> – zuletzt besucht Aug. 2019, auf japanisch



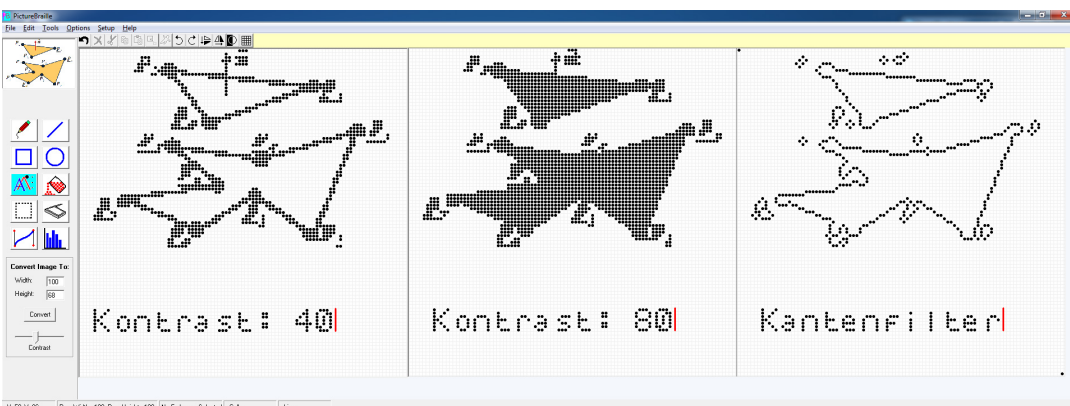
a) Duxbury QuickTac – Editor für äquidistante Braille-Drucker

b) EDEL plus – Editor zum Erstellen taktiler Grafiken für Prägedrucker mit unterschiedlichen Punktgrößen und Auflösungen bis 150 dpi (Bildquelle <http://www7a.biglobe.ne.jp/~EDEL-plus/kyou/index.html>)

c) ViewPlus IvesCreator – Editor zur Erstellung taktiler Grafiken für grafikfähige taktile Prägedrucker und audio-taktile Grafiken im SVG Format



d) Tactile Graphics Assistant (TGA) – Extrahiert semiautomatisch Textinhalte aus Bildern (markiert mit rotem Rahmen) zur effizienteren Übertragung in eine taktile Darstellung [oThe13]



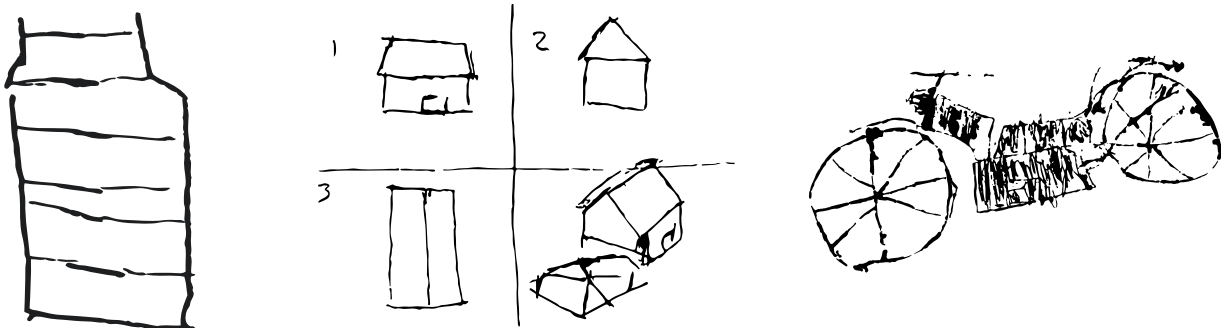
e) Pentronics PictureBraille – Grafikeditor für äquidistante Braille-Drucker mit Filtern zur Umsetzung von visuellen Bildern in taktile Darstellungen (Bildquelle Pentronics)

**Abbildung 3.42:** Beispiele für grafische Benutzungsoberflächen von Editoren für taktile Grafiken



### 3.3.3 Besonderheiten beim Zeichnen durch blinde Menschen

- Zeichenfähigkeiten** Das Erstellen von Bildern ist auch für blinde und sehbehinderte Menschen kein neues Aktionsfeld. In den 1970er Jahren führte KENNEDY einige Experimente zum Zeichnen mit blinden Personen durch [Ken93]. In seinen Versuchen und Schulungen bezog er auch geburtsblinde Menschen ein und ermöglichte ihnen, Bilder zu zeichnen und damit den bildlichen Ausdruck. Zeichenfähigkeiten lassen sich für sehende wie auch blinde Menschen schrittweise entwickeln. Dies braucht jedoch meist kundige Anleitung [Ken93; SNM16]. So ist das schrittweise Konstruieren von komplexen Grafiken kein intuitives Wissen und verlangt Übung – auch weil manche Ansätze zur Erzeugung von Formen stark visuelle Konzepte und Erfahrungen voraussetzen (Verdeckung, Kombination, Subtraktion, etc.). ROBINSON konnte mit seiner *Progressive Step Methode* [Rob07] zeigen, dass diese Vorgehensweise auch blinden Menschen zugänglich gemacht werden kann.
- Information und Ästhetik** Neben dem Fokus auf Informationsaustausch scheint es auch eine gewisse Art der Ästhetik für taktile Bilder zu geben [Har12]. Auch die zeichnende Person selbst möchte teils beide Aspekte explizit bedienen [SNM16]. Ihren informativen Auftrag hat eine Grafik dann erfüllt, wenn sie für den Leser identifizierbar und verständlich ist. Ästhetik in taktilen Grafiken zu bewerten ist deutlich schwieriger und zudem äußerst subjektiv.
- Linienzeichnungen** Blinde Menschen erstellen meist Linienzeichnungen. Dabei stellen die Linien hauptsächlich Konturen und Objektkanten dar (siehe Abbildung 3.43 a). Diese können so unter anderem Aspekte von Perspektive transportieren (siehe Abbildung 3.43 b). Auch blinde Menschen benutzen unterschiedliche Strichstärken, beispielsweise zur Unterscheidung von Außen- und Innenkanten, wenn dies das Zeichenmedium zulässt. Diese Linienzeichnungen können manchmal auch ausgemalt werden, um beispielsweise zu beschreiben, dass Objekte massiv sind (siehe beispielsweise Abbildung 3.43 c) [Edm92, S. 189].
- Metaphorik und Symbole** Darüber hinaus können Zeichnungen metaphorische Aspekte aufweisen [Ken14], zum Beispiel durch die Darstellung von nicht sichtbaren Teilen, wie Schallwellen, Rhythmen oder Bewegung (siehe Abbildung 3.44). Dabei entsprechen dargestellte Linien nicht immer einer tatsächlichen und physisch existenten Außenkante. In einigen Fällen sollen sie einfach nur verdeutlichen, dass Teile oder Elemente miteinander verbunden sind oder in Beziehung zueinander stehen [Ken93, S. 102]. Zudem nutzen auch sehbehinderte Menschen symbolische Zeichnungen oder

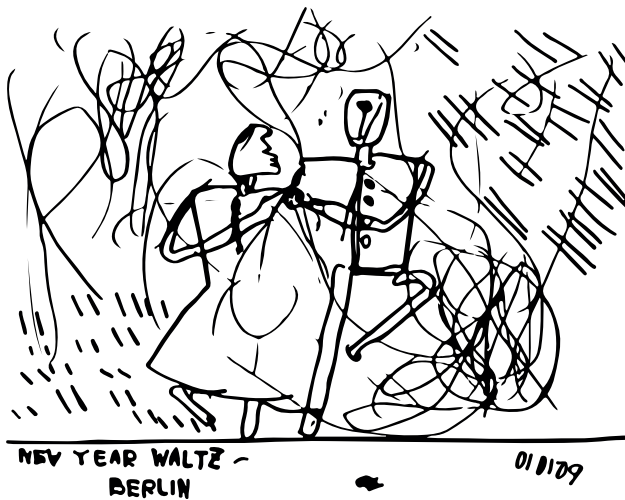


a) Bild eines Einmachglases gefüllt mit verschiedenen Schichten im X-Ray Stil – früherblindeter Junge auf Zeichenfolie [Ken93, S. 255]

b) Haus aus verschiedenen Perspektiven mit räumlicher Projektion – geburtsblinder Mann (51 Jahre) mit Stift auf Papier [KJ06]

c) Motorrad mit ausgefüllten Flächen zur Verdeutlichung solider Teile [Edm92]

**Abbildung 3.43:** Zeichnungen von Gegenständen durch blinde Personen unter Nutzung verschiedener Techniken zur Darstellung von Eigenschaften der Objekte

**Abbildung 3.44:**

Tanzszene mit Pärchen aus Mann und Frau, das Walzer tanzt; mit „Musik- und Rhythmus-Linien“ – späterblindete Frau (Anfang 30) auf Zeichenfolie [Ken14]

Elemente in ihren Bildern. Diese Symbolwelt, die oft weder visuell noch taktil korrekt ist, wird zwischen blinden und sehenden Menschen geteilt. Beispiele für solche Symbole sind Herzen, Sterne und so weiter [Har12].

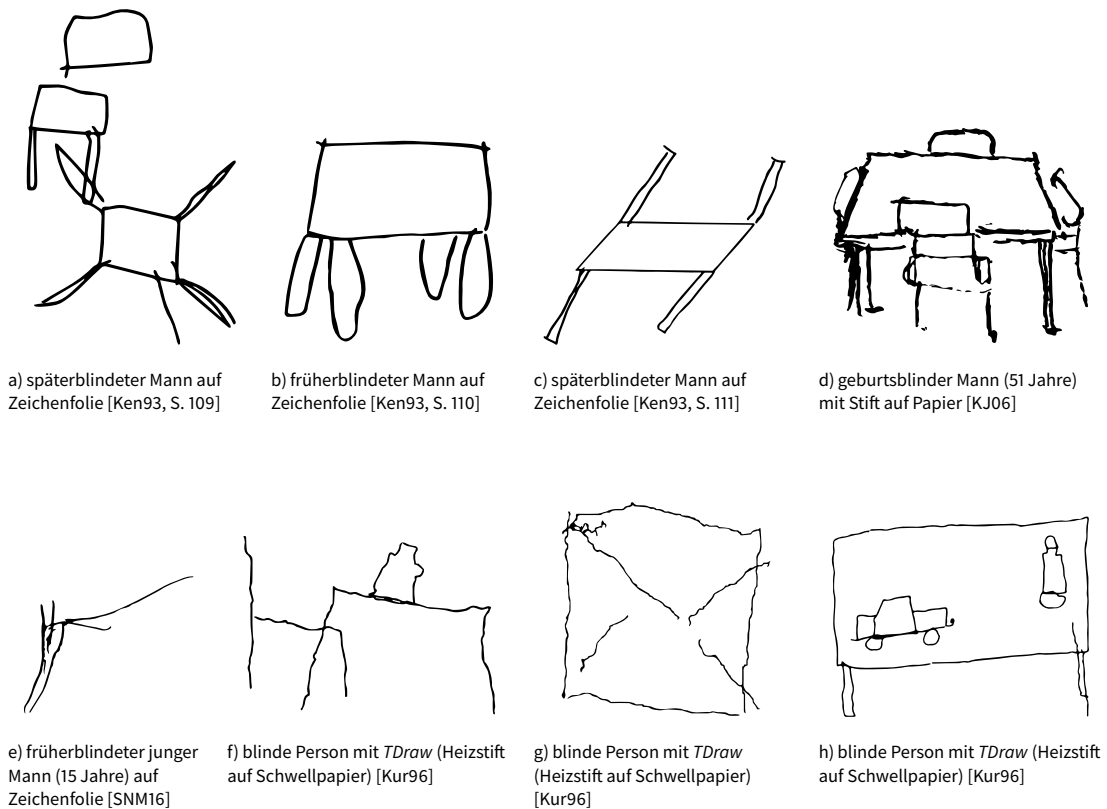
Die Bilder blinder Zeichnender sind oft aus einem bestimmten und markanten Blickwinkel erstellt. Dabei nimmt vor allem die Seitenansicht oder das Profil eine besondere Stellung ein. Das liegt sicherlich auch daran, dass wenn man blinde Menschen danach fragt, sie sich spontan Objekte im Profil vorstellen und auch Zeichnungen darauf hin versuchen zu gestalten und zu entschlüsseln [Hel89]. Gerade Tiere oder Ähnliches werden im Seitenprofil dargestellt (siehe beispielsweise Abbildung 3.46 auf Seite 73). Erstaunlicherweise behalten die meisten blinden Menschen jedoch die Originalform der (Objekt-)Flächen beim Einsatz eines Betrachtungspunktes bei. Das heißt, es werden keine perspektivischen Verzerrungen auf die Flächen der Objekte angewendet. So bleiben beispielsweise rechteckige Tischplatten immer rechteckig oder geradlinig [Ken93, S. 112] (siehe Beispielsweise Abbildung 3.45 b und h). In einigen Fällen kann sich aber auch der Blickwinkel innerhalb eines Bildes ändern. So zeichnen blinde Kinder in ein Profilbild Elemente in Draufsicht ein, um sie besser zu verorten oder darstellen zu können [Edm92, S. 182].

Blickwinkel

Allgemein ist der korrekte Einsatz von Perspektive und Projektion für blinde Menschen äußerst schwer umzusetzen [HKJ95; SNM16]. Eine Gestaltung von Tiefe durch Anwendung einer 45-Grad Projektion der z-Achse, findet faktisch nicht statt. Auch sehende Zeichnende würden diese wahrscheinlich nicht anwenden, wenn sie diese nicht im Rahmen der schulischen Ausbildung oder durch Imitieren anderer Zeichnungen und Fotografien erlernt hätten. Diese Art der Darstellung wurde erst in der Renaissance erfunden und seither weitergegeben. All diese Techniken, wie auch die Darstellung von Tiefe durch unterschiedliche Größenrelationen von Objekten<sup>16</sup>, werden als monokulare Hinweise auf Tiefe bezeichnet [SNM16]. Es sind jedoch rein visuelle Phänomene, die kein fühlbares Pendant haben und somit einer blinden Person eventuell nicht bewusst sind. Nichtsdestotrotz gibt es hochbegabte blinde Menschen, die den Einsatz von Perspektive und Projektion in Zeichnungen sehr gut beherrschen (siehe beispielsweise Abbildung 3.45 d) [KJ03; KJ06]. Auch durch Training kann blinden Menschen die Konstruktion solcher perspektivischen Bilder mit einem oder mehreren Fluchtpunkten vermittelt werden [Ken93].

Projektion und Perspektive

<sup>16</sup> kleiner dargestellte Objekte sind weiter weg als große



**Abbildung 3.45:** Zeichnungen von Tischen durch blinde Personen

**kindlicher Charakter** Zeichnungen von blinden Erwachsenen werden oft auf den ersten Blick mit Zeichnungen von Kindern verglichen (siehe Abbildung 3.46). Die Ausgestaltung beziehungsweise Darstellung der Einzelelemente und die Art der Komposition weisen deutlich Parallelen zu Zeichnungen von Kindern zwischen dem siebten und zehnten Lebensjahr auf, obwohl Kinder dann meist schon deutlich mehr Erfahrung im Zeichnen und mit bildlichen Darstellungen im Allgemeinen gesammelt haben [Ken93, S. 104]. Jedoch bleibt zu bedenken, dass der Schritt vom Wissen wie etwas aussieht oder funktioniert, hin zu dem, was wir selbst bildlich darstellen können, schwierig ist und auch viele sehende Zeichnende vor unüberbrückbare Hürden stellt.

**Proportionen und Relationen** Der offenkundig fehlende Realismus in den meisten Zeichnungen von Kindern und blinden Menschen resultiert auch aus der starken Abstraktion von komplexen Objekten in eine Kombination aus einfachen geometrischen Formen [SNM16] (siehe Abbildung 3.47). Gerade die Proportionen von Objekten und Merkmalen richtig einzuschätzen stellt blinde Zeichnende – wie auch sehende Kinder – vor große Probleme [Ken93, S. 121]. Zudem wird oft weder in der Gestaltung der Einzelelemente noch in der Komposition des Bildes selbst Wert auf Größenrelationen oder Perspektive gelegt [HKJ95; SNM16]. Die Platzierung der Objekte zueinander wird bei der Planung der Komposition des Bildes oft vernachlässigt. Objekte werden manchmal einfach dort platziert, wo sich scheinbar genug Platz dafür findet.

Die Realitätsnähe von Zeichnungen basiert auch stark darauf, ob und in welchem Umfang die dargestellten Strukturen durch den Zeichnenden selbst erfahren wurden. So lassen sich sehr große Objekte, wie Häuser und Bäume, genauso wie rein visuelle Merkmale, wie die Fellzeichnung von Tieren, von blinden Menschen – wenn überhaupt – oft nur unzureichend abbilden.



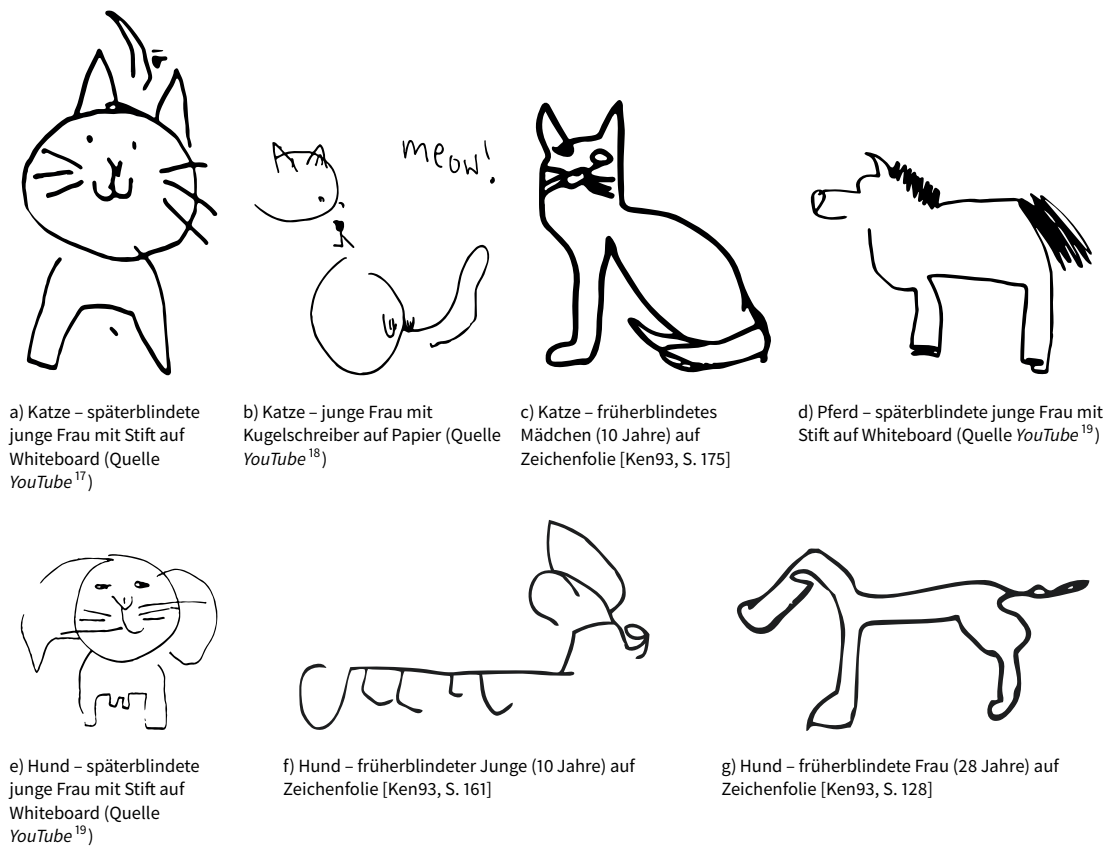


Abbildung 3.46: Zeichnungen von Tieren durch blinde Personen

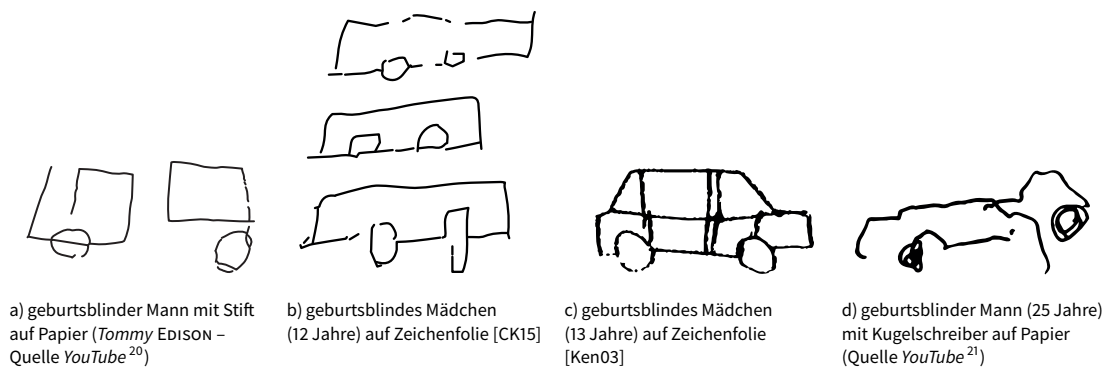


Abbildung 3.47: Zeichnungen von Autos durch blinde Personen

Die gezeichneten Linien bilden meist nur die grobe Form der Einzelkomponenten ab und wie sie zueinander ausgerichtet sind. Zeichnungen, die nur diese groben aber markanten Charakteristika durch einzelne Linien abbilden, werden Strich-Figuren (nach Strich-Männchen) genannt [Ken93, S. 115]. Sie sind ein probates Mittel, die für den Zeichnenden relevanten Merkmale von Objekten einfach und schnell wiederzugeben. Dabei wird absichtlich auf De-

Strich-Figuren und  
markante  
Charakteristika

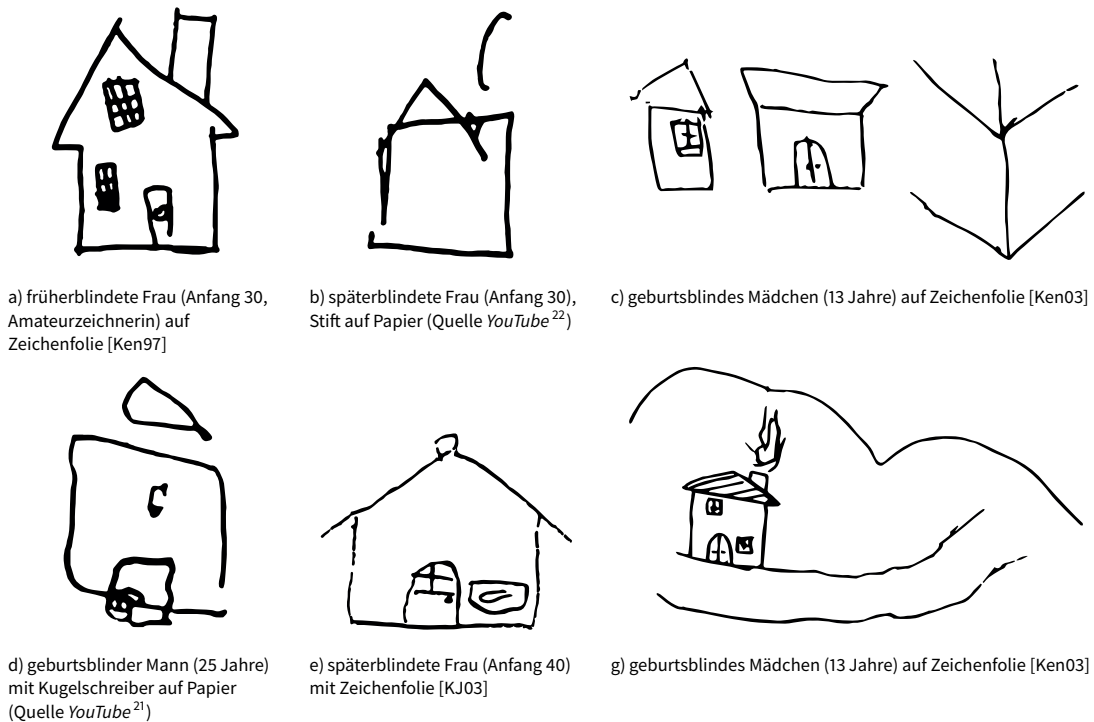
<sup>17</sup> <https://youtu.be/MxCiw7W0NHk>

<sup>18</sup> <https://youtu.be/2kScxh1rM0c>

<sup>19</sup> <https://youtu.be/wP6Yb6Pl-7s>

<sup>20</sup> <https://youtu.be/P1IY6plQKGI>

<sup>21</sup> [https://youtu.be/cD1xmPk\\_-oE](https://youtu.be/cD1xmPk_-oE)



**Abbildung 3.48:** Zeichnungen von Häusern durch blinde Personen

tails verzichtet oder Merkmale besonders hervorgehoben (siehe beispielsweise Abbildungen 3.46 und 3.48). Die Unzulänglichkeiten in ihren Darstellungen versuchen blinde Menschen ihrem Gegenüber oft durch zusätzliche verbale Kommentare zu erläutern [Ken93, S. 100 ff.]. So zum Beispiel, wenn durch die Wahl des Betrachtungspunktes eine gerade Linie ein eigentlich rundes Objekt repräsentieren soll. Dies ist natürlich oft nur für den Augenblick und nur bedingt für eine asynchrone Kommunikation oder das Archivieren von Wissen geeignet.

#### Standort- und Merkmalsbilder

Generell lässt sich die Darstellung von Objekten durch blinde Menschen in zwei Kategorien einteilen [Ken93, S. 110]. Zum einen werden Objekte durch die Einbeziehung des Standorts des Zeichnenden dargestellt, was Konzepte wie Verdeckung und sogar Projektion und Perspektive integriert. Dabei werden oft orthogonale Betrachtungspositionen eingenommen, die Objekte beispielsweise von oben oder von einer spezifischen Seite zeigen (siehe Abbildung 3.45). Die zweite Darstellungsweise fokussiert sich hauptsächlich auf die Präsentation von Merkmalen. Das heißt, es werden alle relevanten (taktilen) Merkmale der Zeichnung hinzugefügt, auch wenn diese vom gewählten Betrachtungspunkt unter Anwendung von Projektion nicht sichtbar und damit darstellbar wären. Dabei werden die Merkmale oft so angeordnet, dass sie in ihrer Beziehung zueinander den Bewegungen beim Ertasten entsprechen (siehe beispielsweise Abbildung 3.45 a und g). Gerade geburtsblinde Menschen zeichnen oft nach diesem Schema, indem sie die Hand-Arm-Bewegungen des Abtastens von Objektkanten in eine Zeichnung überführen [Har12]. Die Merkmale werden meist so platziert, dass sie möglichst wenig Überlappungen aufweisen [Ken93, S. 112]. Die gewählten Winkel, in denen die Merkmale miteinander verbunden werden, sind dabei höchst variabel. Das Konzept der Verdeckung von Objekten ist für einige blinde Menschen schwer umzusetzen. Oftmals zeichnen sie Elemente, durch die man hindurchsehen kann, sogenannte X-Ray (Röntgen) Bilder [Ken93, S. 97] (siehe Abbildung 3.43 a).

#### Unverständlichkeit der Zeichnungen

Final bleibt es für Dritte, gerade bei frei gewählten Darstellungen in Freihandzeichnungen, oft schwierig zu identifizieren, was die Bilder von blinden Menschen darstellen sollen [SNM16]



a) späterblindete Frau (Anfang 30) mit Stift auf Papier (Quelle YouTube<sup>22</sup>)



b) geburtsblinder junger Mann (Mitte 20) auf Zeichenfolie [Ken93, S. 241]

**Abbildung 3.49:** Zeichnungen von Segelbooten durch blinde Personen

(siehe Abbildung 3.45 e oder 3.49 b). Unabhängig ob sehend oder fühlend betrachtet, ohne eine entsprechende Einordnung der Darstellung durch zusätzliche Hinweise, bleiben solche Zeichnungen oft unverständlich. Einige blinde Zeichner waren sogar selbst nur wenige Minuten später nicht mehr in der Lage, ihre eigenen Zeichnungen zu verstehen [Kur96].

Blinde wie auch sehende Zeichnende sehen das Ergebnis ihrer Anstrengungen selbst oft sehr kritisch. Dies liegt vor allem daran, dass sie es nicht schaffen, die relevanten Merkmale sowie deren Proportionen und Relationen für sich selbst annehmbar in ihre Zeichnung zu überführen [Ken93; Kur96; SNM16]. Sehbehinderte Menschen erkennen natürlich auch, wenn sie Fehler in ihren Zeichnungen gemacht haben [BS19]. Nicht immer schaffen sie es jedoch diese zu korrigieren, auch wenn es das Zeichenwerkzeug zulässt (vergleiche Abschnitt 3.3.1 – *Manuelle Methoden*). Gerne werden dann verfügbare sehende Personen als Hilfe bei Zeichenaufgaben herangezogen, die dann beratend oder anleitend zur Seite stehen [BS19].

Fehlerbewusstsein

Die größten Probleme beim Zeichnen sind<sup>23</sup>:

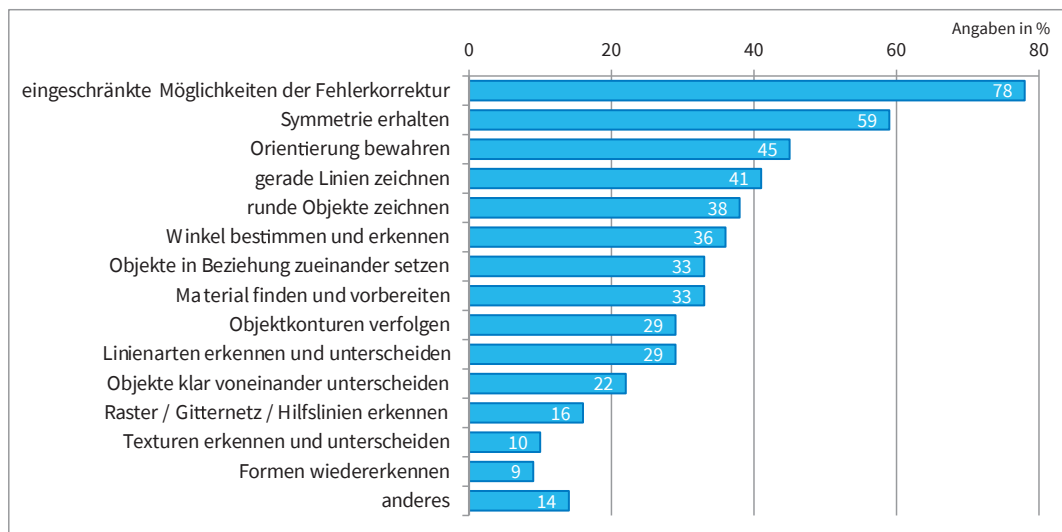
Probleme beim  
blinden Zeichnen

- Wahrung der Referenz(-Linie) [BS19; KL00]
- Abschätzung von Winkeln [BS19; KL00]
- Einschätzung von Größen und Größenrelationen [BS19; Wat+06]
- Einschätzung des notwendigen Platzbedarfs für Objekte [Edm92, S. 187][Wat+06]
- Vermeidung von unbeabsichtigten Überlappungen und Überschneidungen von Linien und Objekten [BS19; KL00; Ken93]
- Planen von Zeichenhandlungen [GF16; MRB10]
- Schließen von Formen [KL00; RME07]
- Verbinden von Linien [KL00; RME07]

Diese Meta-Probleme resultieren auch aus den rein praktischen Problemen, die sehbehinderte Menschen beim Zeichnen selbst erfahren (siehe Abbildung 3.50). Dabei sind vor allem handwerkliche Schwierigkeiten, die Unzufriedenheit mit dem eigenen Bild, unzureichende Zeichenfähigkeiten sowie Unzulänglichkeiten des Zeichenwerkzeugs als Ursache zu sehen.

<sup>22</sup> <https://youtu.be/NyJpccTNPhY>

<sup>23</sup> Die Reihenfolge der Aufzählung stellt keine Wertung dar.



**Abbildung 3.50:** Häufigste Probleme von blinden und sehbehinderten Autoren beim nicht-visuellen Zeichnen (n = 58, Angaben in %) nach [\*PBW14]

**Planung und Komposition** Beim Zeichnen selbst sind nicht nur motorische Fähigkeiten, sondern auch deren korrekte Planung wichtig. Wo eine Linie anfängt und wo sie endet sind Teil dieser Planungsaufgabe [Mil91]. Ohne die Möglichkeit der Kontrolle, ob und wie gut die gerade ausgeführte Zeichenbewegung diesem Plan genügt, wird kaum eine zeichnende Person ein befriedigendes Ergebnis erhalten (siehe Abbildung 3.48 b und d). Diese Kontrolle fällt sehenden Autoren deutlich leichter. Blinde Menschen sind hier auf Alternativen angewiesen, die ihnen die Planung und gleichzeitige Bewertung ermöglichen – beispielsweise durch eine taktile Präsentation. Dabei sind die Zeichnenden immer auch an die Grenzen des Zeichenmediums und der darauf angewendeten Werkzeuge gebunden [Ken93, S. 105].

**Größenprobleme** Probleme in der Einschätzung von Größen und Längen resultieren auch aus den ungenauen oder unzulänglichen Werkzeugen und Methoden, wie dem Abschätzen und Vergleichen von Strecken mittels Fingerspanne oder Fingerlängen [BS19]. Zudem entstehen Probleme in der Interpretation und beim Zeichnen durch eine Diskrepanz zwischen dem mentalen Model und dem tatsächlich Dargestellten beziehungsweise Wahrgenommenen. Die Erwartungshaltung des Betrachtenden kann dazu verleiten, das Gefühlte als etwas Falsches zu interpretieren oder es zu verwechseln. Damit wird entweder die Aussage verfälscht oder er nimmt falsche Merkmale als Referenz für zukünftige Zeichenhandlungen [BS19].

**Anmerkung** Das eigene Ergebnis in seiner Güte zu bewerten, obliegt eigentlich einzig der zeichnenden Person selbst. Nur sie kann bemessen, wie gut das Dargestellte dem eigentlichen mentalen Bild, welches Grundlage des Handels war, entspricht. Die Zeichnungen blinder und sehbehinderter Menschen können jedoch einen deutlichen Hinweis darauf geben, wie diese die dreidimensionale Welt im Zweidimensionalen wiedergeben. Daraus könnte man Gestaltungen ableiten, die taktile Grafiken für blinde Menschen besser verständlich machen [Har12].

### 3.4 Probleme in taktilen Grafiken

Wie bereits mehrfach erwähnt, wünschen sich blinde und sehbehinderte Menschen öfter den Einsatz von taktil-grafischen Materialien. Sie stehen diesen aber auch kritisch gegenüber, da die Materialien die in sie gesetzten Erwartungen manchmal nicht erfüllen.

Viele Konsumierende von taktilen Grafiken berichten dabei immer wieder von gleichartigen Problemen. Dazu wurde eine Online-Umfrage unter 102 blinden und sehbehinderten Menschen (78 blind – [57 geburts- oder früherblindet (bis 6 Jahre), 7 Erblindung nach dem 40. Lebensjahr], 21 hochgradig sehbehindert, 3 sehbehindert; Alter:  $\bar{x}$  41 Jahre, SD 14,7 Jahre; 50 Frauen) ausgewertet. Davon gaben 78 Personen an, dass sie bereits Erfahrung mit taktilen Grafiken gemacht haben. Fast alle restlichen Teilnehmenden (20 von 25) gaben an, generell Interesse an taktilem Bildmaterial zu haben. Die von den erfahrenen Personen berichteten Praxisprobleme sind in Abbildung 3.51 zusammengefasst.

Derartige Rückmeldungen über Schwierigkeiten können dazu herangezogen werden, Richtlinien oder Kriterienkataloge, wie sie in Abschnitt 5.2 – *Qualitätsmerkmale und Richtlinien für taktile Grafiken* vorgestellt werden, zusammenzustellen. Diese sollen helfen, typische Fehler zu vermeiden und Grafikautoren dafür zu sensibilisieren.

Grundlage solcher Fehler oder Unzulänglichkeiten von taktilen Materialien ist oft ein Missverständnis für die Belange und das Können der Zielgruppe sowie das nicht Einhalten von festgelegten Standards oder Gestaltungsempfehlungen (Best-Practice). Letzteres manifestiert sich meist in schlecht oder gar nicht taktil lesbaren Merkmalen, wie (Kontur-)Linien, Brailleschrift oder Objektunterschieden. Ersteres ist schwerer zu fassen und damit auch zu vermeiden, da dies ein Verständnis oder Wissen über die tatsächliche Konsumentengruppe voraussetzt, was aufgrund der Heterogenität der Zielgruppe allerdings schwierig ist. Dennoch gibt es auch hier sich immer wiederholende Schwierigkeiten, die durch meist sehende Autoren eingebracht werden. Ein Hauptkritikpunkt ist beispielsweise die zu hohe Komplexität von taktilen Darstellungen. Dabei ist nicht nur die schiere Menge an Informationen gemeint, die in einem Bild zusammengeführt wird, auch deren zu detaillierte und oft visuell geprägte Präsentation bietet oft Anlass für Kritik durch blinde Adressaten.

basiert auf

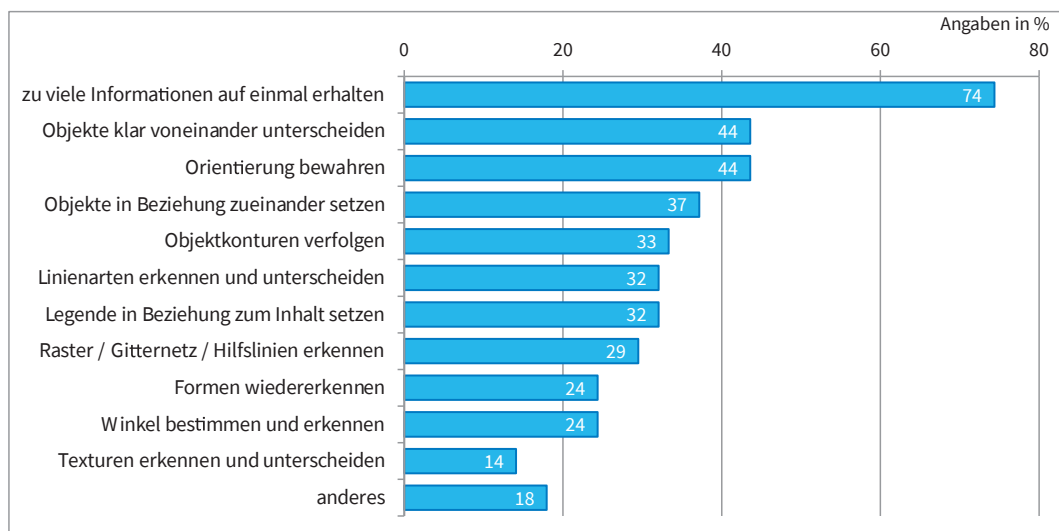


[\*PBW14]

Onlineumfrage

Basis für  
Kriterienkataloge

Gründe für  
schlechte taktile  
Grafiken



**Abbildung 3.51:** Häufigste Probleme von blinden und sehbehinderten Menschen beim Lesen taktiler Grafiken (n = 78, Angaben in %) nach [\*PBW14]

- Einfachheit** Die Darstellung dreidimensionaler Inhalte oder Objekte sowie die Präsentation von Überlagerungen stellt immer noch eine der großen Herausforderungen für Autoren und Leser taktiler Grafiken dar [Mil94]. So ist eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale taktiler Grafiken die Einfachheit der Darstellung. Was dies jedoch genau bedeutet, bleibt subjektiv und schwer prüfbar.
- Erkennbarkeit und Verfolgbarkeit** Auch die rein technischen Eigenschaften der taktilen Präsentation beziehungsweise des Präsentationsmediums verhindern manchmal eine korrekte und effiziente Erkennung des Dargestellten. Probleme durch schlecht oder gar nicht wahrnehmbare taktile Merkmale, die aber für die Erkennung und Interpretation wichtig sind, können durch das Präsentationsmedium noch weiter verstärkt werden. Grobe Rasterungen maskieren beispielsweise Rundungen und kleine Objekte, kleine taktile Punkte machen das Lesen von Braille schwierig und lassen sich zudem oft leicht durch mehrfaches Lesen aus dem Medium „ausstreichen“. Wenn dann noch hinzukommt, dass Objekte und Elemente zu nah aneinandergesetzt sind, oder die entscheidenden Merkmale nicht markant genug ausgearbeitet und dargestellt sind, werden Grafiken schwer bis gar nicht lesbar. Allgemein gilt, dass Vertiefungen deutlich schwieriger zu erkennen sind als Erhebungen. Werden markante Merkmale als Vertiefungen gestaltet, können diese leicht überlesen werden.
- Hilfen** Aber auch banale Hilfen, wie die Bereitstellung eines verlässlichen und einfach zu findenden Bezugssystems, das beispielsweise auf die korrekte Ausrichtung des Blattes hinweist, werden oft vergessen. Dies alles führt zu Frustration bei den Konsumenten und dem Bedarf nach zusätzlicher Hilfe beim Verstehen der Darstellungen. Hinzu kommt, dass die Frustration und damit das Risiko, dass taktile Grafiken gar nicht mehr genutzt werden, zunehmen je mehr Hilfe – beispielsweise durch sehende Personen – hierfür in Anspruch genommen werden muss [SCS16].

### 3.5 Fazit und sich daraus ergebende Anforderungen

- QS für Grafikumsetzung** Die in einen Transkriptionsprozess für Grafiken eingebundenen Personen können und sollen durch geeignete, in ihren Arbeitsablauf eingepasste QS-Maßnahmen unterstützt werden. Vor allem Hilfskräfte und andere Laien brauchen initiale Anleitung, um Grundsatzprobleme zu vermeiden. Darunter fallen immer wiederkehrende Probleme der zu visuell gestalteten Grafiken (z. B. durch den Einsatz von Perspektive etc.), die zu viele Informationen auf zu engem Raum vermitteln wollen. Aber auch grundlegende Aspekte der guten taktilen Erkennbarkeit und Verfolgbarkeit von relevanten Merkmalen sowie der geeignete Einsatz von Brailleschrift sind immer wieder Kern von Kritik durch Betroffene.
- Auch Experten sollen von zusätzlichen QS-Maßnahmen profitieren. Offensichtlich sind sie ebenfalls nicht vor Fehlern oder unzureichend ausgestalteten Materialien gefeit. Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte kollaborative Lektorenarbeitsplatz soll früh im Entstehungsprozess ansetzen.
- Editoren für taktile Grafiken** Gängige Editoren zur Erstellung taktiler Grafiken wollen die meist sehenden Autoren dabei unterstützen, auf die Rasterung des Zielmediums passende Grafiken zu erzeugen. Auch wollen Sie unerfahrene Nutzende durch Mechanismen, wie Filter oder Braille-Transkription, bei speziellen Problemstellungen für taktile Grafiken anleiten. Die Vorschau auf das taktile Ergebnis scheint ein probates Mittel zu sein, den Autor auf die Grenzen und Besonderheiten des taktilen (Ziel-)Mediums hinzuweisen.
- Einsatz von Braille** Der Einsatz von Braille, sowohl in Bildern als auch als taktile Modalität für die Gestaltung einer nicht-visuellen Benutzungsschnittstelle, erscheint sinnvoll. Dabei ist zu beachten, dass die

Brailleschrift selbst in unterschiedlichsten Kodierungen angewendet werden kann. Diesem muss beispielsweise durch den Einsatz eines konfigurierbaren Braille-Übersetzers Rechnung getragen werden.

Braille in Computerschnittstellen einzusetzen ist durch die Nutzung von direkten Übersetzungen relativ einfach und nur vom korrekten Einsatz einer sprachenspezifischen Übersetzungstabelle abhängig. Der Einsatz in Bildern ist allerdings deutlich schwieriger. Nach eigener Erfahrung sind nur wenige sehende Autoren von taktilen Grafiken in der Lage, Kürzungsgrade für Brailleschrift oder spezielle Fachkodierungen korrekt anzuwenden. Auch hier kann ein kundiger Lektor beratend und korrigierend eingreifen.

Es ist jedoch zu beachten, dass die unterschiedlichen Sichten auf den Textinhalt für Schwarzschrift- und Braille-Leser korrekt und verlässlich synchronisiert sind. So kann für den sehenden Grafikautor, der des Braille nicht mächtig ist, eine Schwarzschriftanzeige helfen, während es einem blinden Lektor nur in Braille effektiv möglich ist, eine korrekte Anwendung von Kürzungen und Ähnlichem zu überprüfen; ein Zugang über taktile Schwarzschrift wäre hingegen unverhältnismäßig aufwendig.

Für die Möglichkeit, den konkreten Platzbedarf und Probleme in der Lesbarkeit von Braille in Bildern einschätzen zu können, ist jedoch auch der visuelle Zugang zur Braille-Anzeige sinnvoll. Darüber hinaus kann aufgrund der Aufteilung einer komplexen Grafik in mehrere Einzelgrafiken oder aufgrund des Bedarfs an einer erklärenden Legende eventuell der Einsatz von mehreren Seiten pro taktiler Grafik notwendig sein.

Die Zielmedien für die finalen statisch-taktilen Bilder differieren stark. Vor allem die mögliche Auflösung und, ob verschiedene Höhenstufen möglich sind, spielen dabei eine Rolle. Ein Grafikautor muss sich also vorher über sein gewähltes Zielmedium bewusst werden. Macht er dies nicht und überlässt die Produktion einem Dritten, ohne dessen taktile Produktionsmöglichkeiten zu kennen, sollte auf ein möglichst universell einsetzbares kleinstes Gemeinsames gesetzt werden, das derzeit in der Auflösung bei etwa 10 dpi liegt und keine Höhenstufen zulässt – also binär oder schwarz-weiß ist. Kennt der Autor sein Zielmedium, kann er von dessen Vorzügen Gebrauch machen oder dessen Nachteile in der Gestaltung berücksichtigen.

taktile Zielmedien  
für Grafiken

Die finale Rasterung des zu erzeugenden Bildes vom Digitalen zum Taktilen ist somit einer der großen limitierenden Faktoren. Technisch lässt sich diesem durch die Nutzung von auflösungsunabhängigen Vektorgrafiken gut begegnen. Für die Darstellung von Brailleschrift, die auf einem festen Raster basiert, gilt dies nicht. Hier sind wohl für jedes Zielmedium eigene Lösungen vorzusehen. Der Verzicht auf Braille durch den Einsatz von audio-taktilen Bildbetrachtern könnte hier ein Lösungsansatz sein. Auch hierfür sind vektor- und objektbasierte Grafikdateisysteme besonders gut geeignet.

Rasterungs-  
problematik

Der Einsatz von dynamischen taktilen oder haptischen Anzeigemethoden im Rahmen dieser Arbeit ist in zwei Einsatzbereiche zu unterteilen: Zum einen für den Konsum, also das Betrachten, der final erzeugten und verteilten zugänglichen Grafiken mit zusätzlichen virtuellen Annotationen, zum anderen als nicht-visueller Zugang zur gerade entstehenden Zeichnung im Rahmen einer Kollaboration oder beim selbständigen Zeichnen. Zur reinen Präsentation scheinen viele der beschriebenen Ansätze zumindest bedingt geeignet, auch wenn sie wenig effizient erscheinen. Als unmittelbarer, effizienter und latenzarmer Zugang während einer Zeicheninteraktion scheinen jedoch nur großflächig-taktile Anzeigegeräte mit einer Setzzeit von einigen Millisekunden bis wenigen Sekunden wirklich geeignet.

Einsatzbereich für  
dynamische  
fühlbare Displays

Die großen Unterschiede in den Eigenschaften der zur Verfügung stehenden taktilen Flächendisplays (alias Stiftplatten) macht die Bereitstellung einer universellen nicht-visuellen Benutzungsschnittstelle extrem schwierig. Es ist eine Abstraktionsschicht zwischen Hardware und Zeichenanwendung zu installieren (Middleware), die die Unterschiede in den

Hardware-  
Abstraktion für  
taktile  
Flächendisplays

einzelnen Geräten auffängt und zur Nutzung durch Anwendungen für Stiftplatten abstrahiert beziehungsweise vereinheitlichen kann. Diese und die darauf aufsetzenden Anwendungen müssen im Gegenzug jedoch flexibel genug sein, um mit unterschiedlichen Displaygrößen, Auflösungen und variierender Anzahl zur Verfügung stehender Kontrollelemente umgehen zu können. Generell sind jedoch grafikfähige (äquidistante) taktile Anzeigen solchen zur reinen Braille-Darstellung vorzuziehen.

nicht-visuelles (digitales) Zeichnen Das Zeichnen ist kein neues Aufgabenfeld für blinde Menschen. In einer 2014 durchgeführten Befragung von 102 blinden und sehbehinderten Menschen [\*PBW14] gaben mehr als die Hälfte der Befragten (58 von 102) an, bereits einmal selbst eine taktile Grafik erstellt zu haben. Dabei sind in erster Linie die manuellen Methoden aus Abschnitt 3.3.1 genannt worden (95 %). Immerhin knapp 40 % (23) der Teilnehmenden gaben an, bereits mit digitalen Methoden, welche erst in Abschnitt 4.2 ab Seite 88 vorgestellt werden, Grafiken erzeugt zu haben.

Das rechnergestützte Erstellen von Zeichnungen ist deutlich weniger verbreitet und so sind manuelle und analoge Methoden die gängige Praxis. Die Gestaltung von Liniengrafiken über Eckpunkt-Nadeln, die mit Geraden (Schnüren oder Gummis) verbunden werden, kann ebenso als Basis für digitale Zeicheninteraktionen herangezogen werden wie das Arbeiten mit vordefinierten Formen aus Formenkästen, die zu virtuellen Objektpaletten werden. Auch scheint das Freihandzeichnen mittels Stift als Zeichenmethode weit verbreitet und soll als Interaktionsmechanismus digital umgesetzt werden.

Das Zurückgreifen auf gängige und bereits erlernte Methoden soll die Hürde zum Zeichnen verringern und einen deutlich intuitiveren Zugang zum nicht-visuellen Zeichenarbeitsplatz bieten. Nicht jede blinde oder sehbehinderte Person kam jedoch bereits mit allen Zeichenmethoden in Berührung oder war erfolgreich in deren Anwendung.

Objekt-orientierung und Annotation Vektor- und objektbasierte Ansätze, die eine zusätzliche Annotation von Grafikobjekten für eine audio-taktile Darstellung ermöglichen, erscheinen auch für ein nicht-visuelles Zeichenwerkzeug sinnvoll. Neben der Ausgabe auf angeschlossenen (taktilem) Druckern ist eine Vielfalt an möglichen digitalen Austauschformaten, welche dann von anderen Programmen importiert und weiterverarbeitet werden können, für eine weite Verbreitung und Verteilung sinnvoll.

nicht-visuelle Unterstützung beim Zeichnen Bei den Zeichenaktionen für blinde Menschen sind umfangreiche Hilfen zur Erzeugung idealer und präziser Formen und Linien ebenso wie Methoden zur einfachen Fehlerkorrektur und Veränderung von Objektgrößen und deren Platzierung auf dem Zeichenblatt anzubieten. Die Bereitstellung von externen Referenzen zur Abschätzung von Ausrichtung und Größe wäre ebenfalls wünschenswert. Zudem sollte eine weitreichende Unterstützung bei der Erstellung komplexer Formen und Objekte bereitgestellt werden.



# Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen

---

Der Umgang mit grafisch bildlichen Inhalten stellt immer noch eines der großen Probleme dar, denen sich blinde und sehbehinderte Menschen – vor allem im Rahmen ihrer Ausbildung – stellen müssen. Die faktisch unbegrenzten Möglichkeiten, die der Computer hierbei bietet, werden bereits seit Langem erforscht. Dabei wird auch spezielle (oder ihrem initial angedachten Zweck entfremdete) Hardware eingesetzt.

Viele der in diesem Abschnitt angesprochenen Systeme haben gemeinsam, dass sie den Einsatz von Braille in grafischen Darstellungen reduzieren oder obsolet machen wollen. Durch den Einsatz von Audioformaten lässt sich so ein direkterer und teilweise natürlicherer Zugang zu Grafiken ermöglichen. Zudem muss der Lesende der Brailleschrift nicht mächtig sein, was bekanntlich bei vielen blinden Menschen der Fall ist (vergleiche Abschnitt 3.1).

Im Folgenden wird ein Überblick über mögliche rechnergestützte Systeme zur nicht-visuellen Präsentation und Bearbeitung von grafischen Inhalten gegeben. Aus diesen Systemen und den damit einhergehenden wissenschaftlichen Untersuchungen lassen sich im Nachgang Anforderungen für ein nicht-visuelles Zeichensystem erheben.

## 4.1 Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten

Bisher gibt es keinen universell einsetzbaren Ansatz zur effektiven und effizienten computer-gestützten nicht-visuellen Präsentation der Vielzahl unterschiedlichster Grafiktypen [SCS16]. Dennoch ist ein solcher universeller Ansatz zur Präsentation durchaus vorstellbar, der dann für spezielle Domänen, Aufgabenbereiche oder Grafiktypen durch ein effizienteres Werkzeug ergänzt oder ersetzt werden kann.

Die Präsentation von grafischen Inhalten kann unter anderem durch rein auditive Weise erfolgen. Dabei gehen die Möglichkeiten weit über die naive Wiedergabe von vorher bereitgestellten Alternativtexten hinaus. auditiv

**Sonifikation** Die Vertonung oder Sonifikation von Daten ist beispielsweise ein probates Mittel. Mathematische Graphen können mit Hilfe des AGC der Firma *ViewPlus* sonifiziert und somit erkundet werden [Gar02]. Dabei stehen hohe Töne für große y-Werte und tiefe Töne für niedrige oder gar negative y-Werte. Die Position auf der x-Achse wird durch die virtuelle Position im Stereoraum (vom linken zum rechten Stereokanal) repräsentiert. Das Abspielen des Gesamtgraphen sowie die schrittweise Erkundung ermöglichen sowohl Überblick als auch den direkten Vergleich von Wertestellen. Sonifikation findet auch im Bereich der Graphen und hierarchischen Diagramme Anwendung [Cal+06].

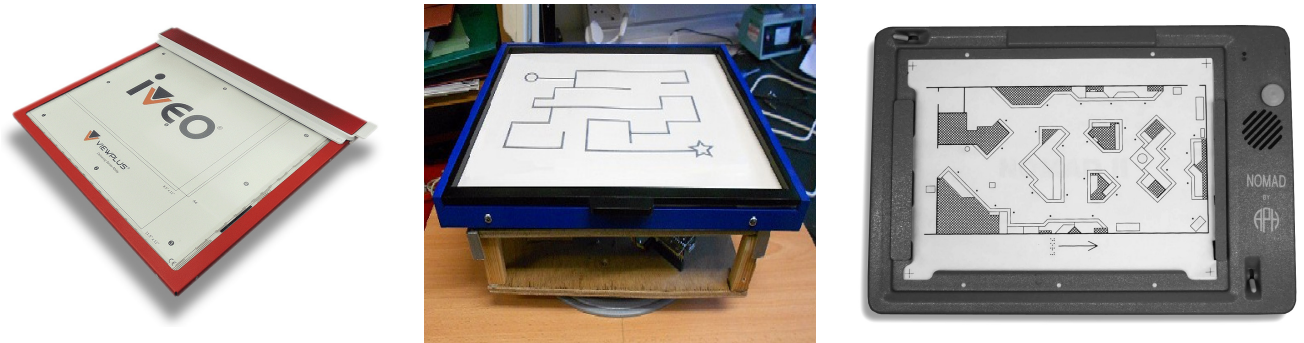
Lassen sich Daten nicht eins zu eins an einen veränderlichen Ton oder eine Tonfolge binden, können feste Tonsequenzen mit Aussagen belegt werden. BREWSTER et al. nutzten erfolgreich *Earcons* (auditive Icons) zur Präsentation von Grafikkomponenten – hauptsächlich im Bereich der Graphen [Bre94; BCH98]. BROWN et al. stellen hierzu sogar einen Richtlinienkatalog zur auditiven Präsentation von Tabellen und Graphen zusammen [Bro+03]. WALKER, NANCE und LINDSAY greifen diese Ideen auf und erhöhen den Informationsgrad durch den Einsatz von synthetischen Sprachanteilen zur Bildung sogenannter *Spearcons* zur Präsentation von Menüstrukturen [WNL06]. Diese sollen ein intuitives Verständnis für Audioelemente ermöglichen, ohne diese vorher erlernen zu müssen. Natürlich ist auch die Präsentation via klassischer (vollständiger) Sprachausgabe [Bal+13; KL00] oder eine Kombination aus mehreren Ansätzen zur Vermittlung grafischer Strukturen möglich [Cal+06; MBS08].

Die Vertonung von Informationen allein stößt jedoch schnell an ihre Grenzen. Darum wird oft auf Sprachsynthese zur Vermittlung komplexerer Inhalte und Zusammenhänge zurückgegriffen. Im Programm *Kekulé* lassen sich beispielsweise chemische Strukturformeln mittels Sprachsynthese frei erkunden [BPS04]. Ein Nachteil von rein auditiven Zugängen zu Grafiken ist die Beschränkung der gleichzeitig präsentierten Elemente und die unpräzise Darstellung räumlicher Relationen [oFO18; KL99]. Die Bereitstellung eines zusätzlichen parallelen Ausgabekanals wird darum oft durch haptische oder taktile Optionen realisiert.

Haptische oder taktile Hinweise spielen beim Erfassen und Verstehen von räumlichen Zusammenhängen und Formen eine signifikante Rolle [Jay+08]. Auditive Ausgaben können zwar das Verstehen unterstützen und einen Überblick ermöglichen [MBS08; Bal+13; Cal+06; Pöl+16], allein bieten sie jedoch keine ausreichend detaillierte Grundlage zur Erkennung von komplexen räumlich-strukturellen Sachverhalten [Jay+08; Kur98], die über die Darstellung leicht zu verbalisierender Strukturen und Formen hinausgeht [KL99].

**Kinästhetik und Explore-by-Touch** Eine Möglichkeit, räumliche Strukturen zu vermitteln, ist die Einbeziehung der Kinästhetik, also beispielsweise der Armstellung von Nutzenden. Durch aktives Erkunden können bei einer körperzentrierten Präsentation räumliche Informationen erfahren werden [SCS16]. Mit ihrem Spiel *From Dots to Shapes* (FDTs) wollen ROTH, PETRUCCI und PUN sehbehinderten Kindern den Zugang zu geometrischen Formen ermöglichen [RPP00]. Dabei setzen sie vor allem auf die auditive Präsentation der Formen im Raum mittels virtuellem 3D-Audio über Stereokopfhörer. Dabei werden die Formen auf einer vertikal aufgespannten virtuellen Fläche platziert und die Kontur als kontinuierlicher Ton abgegangen, der sich durch diesen virtuellen Raum bewegt. Zur besseren Orientierung beim Erlernen des Spiels wird ein taktiler Ausdruck mit einem Grafiktablet kombiniert. Nutzende können darauf die virtuelle Fläche abfahren, sich an den taktilen Strukturen des Ausdrucks orientieren und so die Repräsentation der Formen im virtuellen Tonraum besser erlernen.

Der *Audiograph* von KENNEL setzt zur Vermittlung von Graphen auf eine Kombination aus Vertonung von grafischen Grundelementen und Sprachsynthese für die Ausgabe von Knoteninhalten [Ken96]. Dabei wird das zu betrachtende Element durch den sehbehinderten Leser auf einem Touchpad angewählt. Durch Veränderung des Fingerdrucks auf das Sensorfeld



a) ViewPlus IVEO 3 Hands-On Learning System  
(Bildquelle ViewPlus)

b) Talking Tactile Tablet (TTT) auf Drehteller [AE13]

c) Nomad TouchBlaster (Bildquelle APH Blogger –  
<http://www.fredshead.info>)

**Abbildung 4.1:** Touchpad Systeme mit veränderlichen taktilen Auflagen

kann der Detailgrad der ausgegebenen Informationen verändert werden – je stärker der Druck, desto mehr Informationen zum Graphenelement werden bereitgestellt.

Bei klassischen *Explore-by-Touch*-Ansätzen, wie sie in Screenreadern für Touch-Displays zum Tragen kommen (vergleiche Abschnitt 2.3 – *Interaktionsformen*), spielt ebenfalls die kinästhetische Wahrnehmung in Kombination mit der Sprachausgabe eine maßgebliche Rolle. Zudem können Vibrationsmuster unterstützend eingesetzt werden. Dieses Konzept wird nicht nur zur Bedienung von Anwendungen eingesetzt, sondern kann auch zur Erkundung von grafischen Inhalten dienen [Buz+15a; Toe+11]. Der Einsatz von programmierbaren interaktiven Stiften (*Anoto-Stifte*<sup>1</sup>, *Neo Smartpen*<sup>2</sup>, *TalkingPEN*<sup>3</sup> oder *TipToi*<sup>4</sup>) ist ein weiterer Ansatz, Grafiken mit positionsabhängigen Audioausgaben zu verknüpfen.

Die Idee der räumlichen Präsentation auf glatten, homogenen Oberflächen vernachlässigt viele Potenziale der Haptik, die so wichtig für blinde Menschen ist. Aus diesem Grund liegt die Idee nahe, klassische statisch-taktile Medien (siehe Abschnitt 3.2.1) mit dem Computer zu verbinden, um so ein Mehr an Information und Interaktion zu ermöglichen. Beispielsweise können taktile Ausdrucke als Auflage für Touch-Tablets oder Tablet Computer genutzt werden, um auf zusätzliche Annotationen zur taktilen Darstellung zugreifen zu können, zum Beispiel bei Karten [Par88; MLG06] oder Diagrammen [LW03].

audio-taktile  
Repräsentation

Beim *IVEO hands on learning System* werden SVG-Dateien zur Kombination von grafischen Inhalten und textuellen oder Tondatei-Annotationen genutzt [GB04; GB06]. Erstere werden mittels grafikfähigem taktilen Drucker als taktile Überlagerung erstellt. Auf die Annotationen kann mittels speziellem berührungssensitiven Bilderrahmen (siehe Abbildung 4.1 a) und Mauscursor-Simulation zugegriffen werden. Das zugehörige Autorenwerkzeug ermöglicht es, Annotationen an sichtbare Grafikobjekte oder unsichtbare überlagernde Regionen zu binden. Ein Binärcode am oberen Bildrand des taktilen Ausdrucks kann an die zugehörige SVG-Datei gekoppelt werden, sodass diese direkt über den taktilen Ausdruck aufgerufen werden kann, ohne einen Screenreader bedienen zu müssen.

Ein ähnliches Interaktionskonzept verfolgt das *Talking Tactile Tablet System* (TTT) [LG01; LW03; oToul6]. Im Gegensatz zum *IVEO System* können jedoch auf den taktilen Auflagen standardisierte Interaktionselemente (Nummern-Pad oder Fünf-Tasten-Cursor-Element) platziert

<sup>1</sup> z.B. *livescribe* – Url: <https://www.livescribe.com> – zuletzt besucht Sep. 2019

<sup>2</sup> *Neo Smartpen* – Url: <https://www.neosmartpen.com> – zuletzt besucht Sep. 2019

<sup>3</sup> *Mantra Lingua TalkingPEN* – Url: <http://www.talkingpen.co.uk> – zuletzt besucht Sep. 2019

<sup>4</sup> *Ravensburger TipToi* – Url: <http://www.tiptoi.com> – zuletzt besucht Sep. 2019

werden, um Nutzerinteraktionen für komplexere Anwendungen zu ermöglichen. Projekte, die das *TTT* als Basis verwenden, setzen es auf eine 360-Grad drehbare Halterung und erweitern somit nochmals die Interaktionsmöglichkeiten [AE13; EHP15] (siehe Abbildung 4.1 b).

*Iveo* und das *TTT* setzen auf eine bereits früher eingesetzte Kombination aus Touchpad mit veränderlicher taktiler Auflage zur Schaffung eines audio-taktilen Interaktionssystems. Der *Nomad TouchBlaster* von PARKES (siehe Abbildung 4.1 c) hatte in erster Linie die Präsentation von Karten als Anwendungsfall [Par91; Par94]. Das auf dem *Nomad-Pad* aufbauende *Dresden AUDIO-TOUCH* von LÖTZCH setzte damals im Speziellen darauf, den Einsatz von Braille in Informationsgrafiken durch Sprachausgabe deutlich zu reduzieren oder ganz zu ersetzen [Löt94]. Andere audio-taktile Systeme mit statischen Auflagen ermöglichen Zugang zu Diagrammen [BE98] oder Strukturen von Webseiten [Li+19] und GUIs [LW03].

Statische taktile Auflagen haben den Nachteil, dass man diese im Vorherein erstellen und bereitstellen muss. Zudem muss die Auflage gewechselt werden, wenn sich der dargestellte Inhalt oder die Anwendung ändert. Die Identifikation des aufgelegten taktilen Ausdrucks kann manuell oder mittels Barcodes und RFID Tags komfortabler gestaltet werden [FM08]. Am besten ist natürlich, diesen manuellen Wechsel durch den Einsatz dynamisch haptischer oder taktiler Medien (vergleiche Abschnitt 3.2.2 – *Dynamische Medien*) obsolet zu machen.

**Force-Feedback** Auch FF-Geräte lassen sich mit auditiven Inhalten zu audio-haptischen Systemen verbinden [YKB03]. Das *TeDUB* System stellt blinden Menschen einen Zugang zu UML-Diagrammen für die Software-Entwicklung bereit [Kin+04]. Es lässt dem Nutzenden die Wahl zwischen mehreren redundanten Erkundungsmodalitäten, darunter mit einem klassischen Screenreader zugängliche GUI-Formularausgaben, räumliche Sonifikation beziehungsweise Sprachausgabe und ein haptisches Interface via Force-Feedback-Joystick. Gesteuert wird die Exploration mittels Tastatureingaben oder via FF-Joystick, der die Richtung von verbundenen Knoten wiedergeben kann. LAHAV und MIODUSER nutzen ebenfalls einen FF-Joystick in Kombination mit Tönen und Sprachausgabe, um blinden Menschen die Erkundung eines virtuellen Raums zu ermöglichen [LM08]. Virtuelle Raumobjekte werden durch Kräfte im FF-Gerät sowie Ton-Samples und erklärende Sprachausgaben vermittelt. *Touch Tiles* verbindet beispielsweise eine FF-Maus mit auditiver Ausgabe zur Erkundung von geometrischen Grundformen [Bus03].

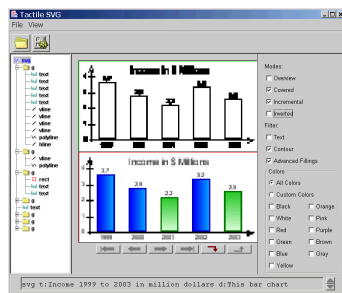
**3D-Krafrückmelder** 3D-Krafrückmelder, wie der *Novint Falcon* oder der *PHANToM* (siehe Abbildung 3.14 auf Seite 48), werden ebenfalls zur haptischen Erkundung von Grafiken für blinde und sehbehinderte Personen genutzt [Abu+10; MB06]. Auch hier stellt die Nutzung von Audio als weitere Ausgabenmodalität eine gängige Methode dar. Verschiedenste Projekte und Programme zur Präsentation von Karten [Kon+15], Linien-Grafiken [YRB01; Ram+00; Ras+14] oder verschiedenen Diagrammtypen [YB02; WB05; Abu+10] haben bewiesen, dass diese Präsentationsform vor allem auch im schulischen Kontext einen Mehrwert darstellt [RME07]. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Präsentation von Informationen und der Interaktion mittels 3D-Krafrückmeldern findet sich in [Sjö02].

Die Möglichkeiten dieser Geräte, nur über einen einzelnen Punkt zeitlich begrenzt und durch Relation zu den umgebenden Punkten definierte haptische Informationen an Nutzende zu übertragen, verlangt von Lesenden einer so präsentierten Grafik ein hohes Maß an mentaler Anstrengung [Jan00]. Taktile Präsentationen, die das aktive und bestenfalls ganzhändige, bimanuelle Erkunden erlauben, können solche Probleme überwinden und einen intuitiveren Zugang schaffen.

**taktile Displays** Das System von LÉVESQUE und HAYWARD setzt beispielsweise auf ein kleinflächiges taktilen Display, das über latero-taktile Vibrationen einen fühlbaren Eindruck vermittelt [LH10]. Damit lassen sich Vektorgrafiken in dynamische Fühlmuster übertragen und somit erkunden. Auch das Vergrößern und Verkleinern der Ansicht ist möglich [Lév+12]. GUHA und ANAND nutzten

einen selbstgebauten optischen Sensor in Kombination mit einem Vibrationsaktuator (ähnlich dem *Optacon* nur mit einem einzelnen taktilen Stimulator), um einfache Liniengrafiken an blinde Menschen zu vermitteln [GA92]. Im Gegensatz zum *Optacon* (siehe Abschnitt 3.2.2) reagiert das Gerät jedoch auf helle Bereiche auf einem Monitor und nicht auf dunkle (gedruckte) Elemente. Die Kleinflächigkeit der Darstellung dieser Systeme wird von Nutzern als nicht optimal empfunden [Rus+15]. Großflächige dynamisch-taktile Displays können hier Abhilfe schaffen (siehe Abschnitt 3.2.2.2 – *Taktile Flächendisplays*).

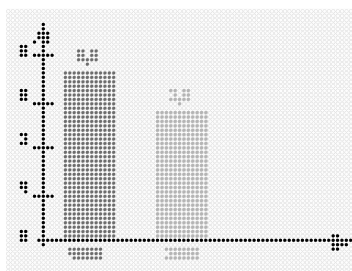
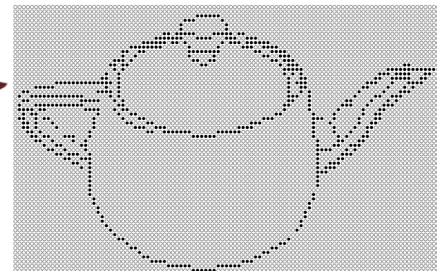
ROTARD bietet mit seinem zugänglichen Bildbetrachter blinden Menschen die Möglichkeit, SVG-Grafiken für eine taktile Darstellung anzupassen und interaktiv zu explorieren [Rot05, S. 117–127]. Dazu kann einerseits ein klassischer Screenreader mit einzeiliger Braille- und Sprachausgabe genutzt werden, andererseits auch ein großflächiges, grafikfähiges taktiler Stiftdisplay (120 × 60 Stifte). Benutzer können Einstellungen zur Filterung der Darstellung nach Farben oder Grafikobjekten vornehmen und den Szenenbaum, der sich aus der Dokumentenstruktur und der Platzierung der Grafikobjekte im Bild ergibt, interaktiv durchlaufen (siehe Abbildung 4.2 a). Zu den einzelnen Bildelementen sind Informationen zum Aussehen (Farbe der Füllung und Kontur), zur Position im Bild und zu erweiterten textuellen Annotationen zugänglich. Über das Programm ist es zudem möglich, einzelne Grafikelemente oder Gruppen aus- und einzublenden (siehe Abbildung 4.2 c). Dadurch soll eine bessere Exploration und damit ein größeres Verständnis für die Grafik ermöglicht werden. ROTARD geht sogar noch einen Schritt weiter und ermöglicht es, 3D-Objekte auf dem taktilen Flächendisplay zu rendern [Rot05, S. 127 ff.] (siehe Abbildung 4.2 b). Dabei werden die Sichtkanten der 3D-Objekte identifiziert und so eine Linienzeichnung aus dem Modell gerendert, welches dann als taktile Grafik ausgegeben wird. Die Kombination von Text und Bild wird ebenfalls durch ROTARD ermöglicht. Neben Texten in Bildern propagiert er darüber hinaus einen rudimentären taktilen Webbrowser [Rot05, S. 132 ff.], in dem taktile Bilder mit umlaufenden Fließtexten in Braille kombiniert werden (siehe Abbildung 4.2 d).



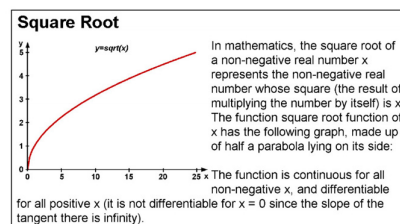
a) GUI des zugänglichen interaktiven SVG-Betrachters [Rot05, S. 118]



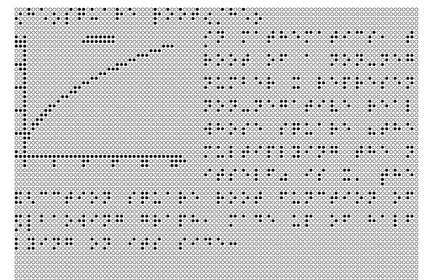
b) taktiles 3D-Rendering nach [Rot05, S. 129 f.]



c) inkrementelles Einblenden von Grafikelementen (je heller, desto später eingeblendet) nach [Rot05, S. 124]



d) taktiler Webbrowser nach [Rot05, S. 133 f.]



**Abbildung 4.2:** ROTARDS taktile SVG-Grafik- und Web-Betrachter

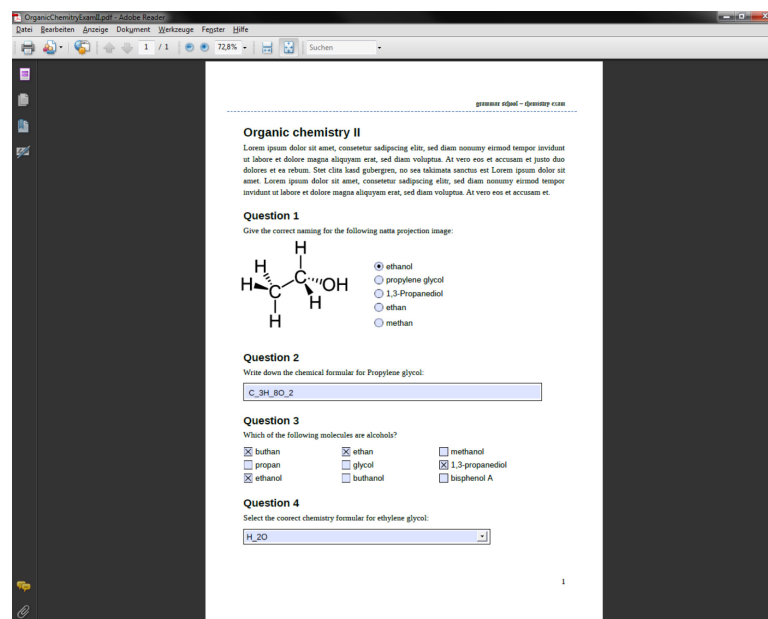


## HyperBraille

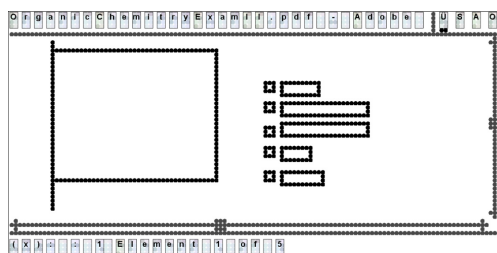


[\*Pre+18]

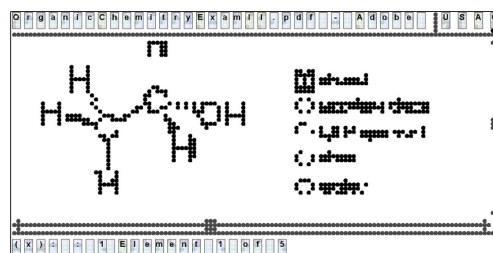
Im Projekt *HyperBraille* wurde neben der Weiterentwicklung einer großen taktilen Stiftplatte [VWB08] und der Entwicklung eines darauf ausgelegten Screenreaders (*HyperReader*) [SKW10] auch untersucht, wie überhaupt Informationen und Anwendungen flächig taktil präsentiert und bedient werden können [Sch+09]. Die *HyperReader* Software setzt dabei auf ein modulares Konzept von Filtern, die Anwendungsdaten und Zustände für spezielle Programme erfassen und in einem abstrakten baumartigen Modell (OSM) zur Verfügung stellen [KVV08]. Solche Filter wurden unter anderem für die Bedienung von *Windows*- und *Office*-Anwendungen, Internetbrowsern oder PDF-Betrachtern bereitgestellt.



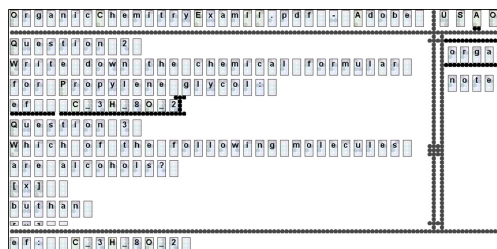
a) Originales interaktives PDF-Formular im Adobe Reader



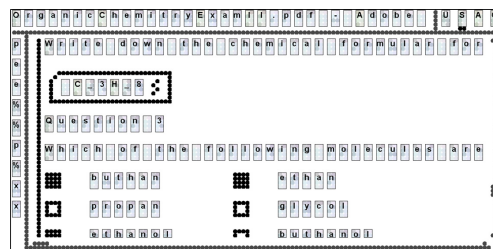
b) Grafik und Radiobutton-Gruppe in Übersichtsansicht



c) Grafik und Radiobutton-Gruppe in Originalansicht



d) Texteingabefeld und Checkboxes in Arbeitsansicht; zusätzliche Fenstertitel-Leiste mit markierter aktiver Anwendung (rechts)



e) Texteingabefeld und Checkboxes in Symbolansicht; zusätzliche Strukturleiste mit semantischen Markierungen (links)

**Abbildung 4.3:** PDF-Datei in den vier verschiedenen Ansichten des *HyperReaders* [\*Pre+18] – die taktile Ausgabe (b bis e) ist jeweils aufgeteilt in mehrere Bereiche: *Kopfbereich* mit Dateiname und markierter Ansichtsart (oben), *Darstellungsbereich* mit dem eigentlichen Inhalt in der aktuellen Ansicht (Mitte) und *Detailbereich* mit fokussiertem Element in Brailleschrift (unten)

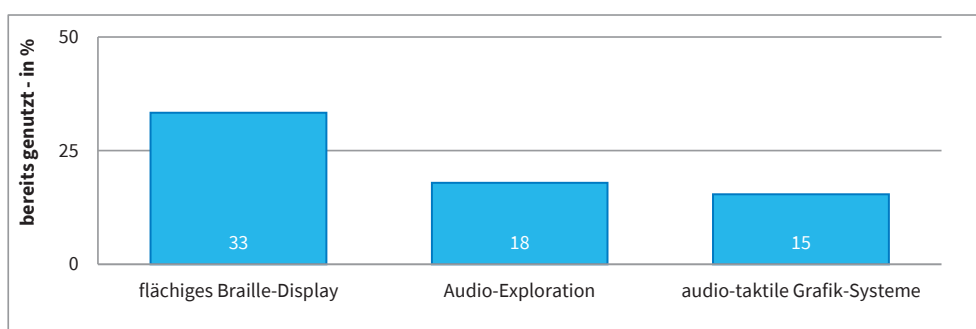
Spezielle Renderer bereiten diese Daten dann taktil auf [Tar11, S. 146–170] und präsentieren sie dem Nutzenden in vier verschiedenen, frei wählbaren Ansichten [Sch+09] (siehe Abbildung 4.3): (1) In der *Arbeitsansicht* werden die Anwendungsdaten linearisiert in mehrzeiliger Brailleschrift bereitgestellt. (2) Die *Überblicksansicht* markiert GUI-Elemente mittels ihrer umgebenden Box (BoundingBox) als taktile Rahmen und gibt somit Zugang zum Layout und zur räumlichen Anordnung von Elementen. (3) Die sogenannte *Originalansicht* setzt einen Screenshot des Anwendungsfensters durch Anwendung verschiedener einstellbarer Filter in eine binäre taktile Repräsentation um. (4) In der *Symbolansicht* werden Interaktionselemente grafisch-taktil in Verbindung mit Brailleschrift dargestellt. Diese sogenannten Widgets geben durch ihre grafische Gestalt Hinweise auf deren Funktion, während textuelle Elemente in Braille unmittelbar gelesen werden können. Über diese zweckmäßige Anwendung der verschiedenen Ansichten können sich Nutzende Informationen zur Anwendung, deren Aufbau und Bedienung selbständig erschließen [PW16].

Zur Strukturierung und besseren Handhabung der Inhalte setzt der *HyperReader* auf ein Fenstersystem, welches Nutzenden einen festen Rahmen vorgibt, wo sich welche Art von Informationen schnell beziehen lassen [PWS10]. So ist die Display-Fläche in mehrere Bereiche unterteilt, die jeweils durch eine Reihe erhabener Stifte voneinander getrennt sind. Neben strukturierenden Bereichen gibt es Statusbereiche, in denen beispielsweise der aktuelle Status der Anwendung, das aktive Fenster, der Titel der Anwendung oder Systemmeldungen bereitgestellt werden (vergleiche auch Abbildung 4.3). Diese fest definierten Bereiche, die sich auch einzeln ein- und ausblenden lassen, helfen Nutzenden verlässlich Informationen zu finden.

Das Fenstersystem und alle Ansichten lassen sich durch Gesteneingabe steuern und mittels Sprachausgabe auditiv erschließen. Alle Ansichtsarten können durch Nutzende frei mittels Panning erkundet werden. In grafisch taktilen Ansichten, wie der *Überblicks-* oder *Originalansicht*, kann zudem durch Zooming die Darstellung im Detailgrad angepasst werden.

Ein erheblicher Vorteil der großen Darstellungsfläche ist es, dass theoretisch auch zwei Anwendungen parallel betrachtet und bedient werden können – so wie es sehende Computernutzende schon seit vielen Jahrzehnten praktizieren. Gerade die *Originalansicht* – also die taktile Darstellung der Pixelansicht des Bildschirms – ermöglicht es blinden Menschen, Zugang zu sonst unzugänglichen (grafischen) Informationen zu erhalten. Dazu zählen nicht nur Bilder und Grafiken in Dokumenten und Anwendungen, auch rein visuelle Hervorhebungen, wie Typographie werden damit erfahrbare [Pre16, S. 106–108].

Es bleibt allerdings festzuhalten, dass sich bisher keines der präsentierten Systeme wirklich in der Praxis durchsetzen konnte [Ras+14]. In einer 2014 durchgeführten Online-Befragung [\*PBW14] gaben dennoch fast die Hälfte (35 von 78  $\approx 44\%$ ) der befragten sehbehinderten



**Abbildung 4.4:** Verbreitung und Nutzung digitaler Medien und Systeme zur Erkundung von Grafiken durch blinde und sehbehinderte Menschen (n = 78) nach [\*PBW14]

Teilnehmenden an, dass sie bereits mit digitalen Erkundungsmechanismen für Grafiken in Berührung gekommen sind (siehe Abbildung 4.4). Einige Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten ermöglichen sehbehinderten Menschen gleichzeitig auch das Bearbeiten oder gar das selbständige Erstellen von Grafiken. Ein detaillierter Überblick über solche Systeme wird im anschließenden Abschnitt gegeben.

## 4.2 Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten



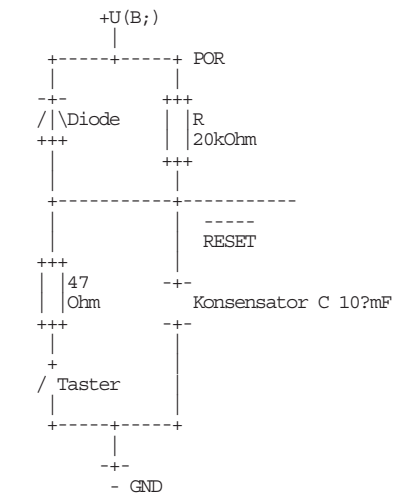
Bereits seit den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts gibt es Bestrebungen, blinde und sehbehinderte Menschen bei der Arbeit mit Grafiken durch Computer zu unterstützen. Viele weitere Projekte folgten über die letzten Jahre, was sicherlich auch der technischen Entwicklung von Ein- und Ausgabegeräten sowie der gestiegenen Leistungsfähigkeit und Ubiquität von Computern und grafischen Werkzeugen geschuldet ist. Auch die Sensibilität für die Belange von Menschen mit Einschränkungen ist durch die Gesellschaft und veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen gestiegen. Die meisten der in diesem Abschnitt beschriebenen Systeme beschränken sich jedoch auf die Behandlung von grafischen Aufgaben und Problemen einer speziellen Domäne.

**Abgrenzung** Grundsätzlich sind blinde Menschen in der Lage, textbasierte Grafiken selbstständig zu erstellen. Dazu zählen unter anderem Grafiken im SVG-Format, welches auf XML basiert und somit in einfacher Textform programmiert werden kann. Auch können blinde Menschen mittels Screenreader Zugang zu Konsolen- beziehungsweise Textschnittstellen von CAD Programmen erhalten (z. B. *AutoCAD 2D*), in denen sie dann Grafiken oder 3D-Modelle programmieren können [Tul14]. Dieser Abschnitt soll sich jedoch mit Programmen und Systemen auseinandersetzen, die mehr Unterstützung bieten und blinde oder sehbehinderte Menschen explizit als Nutzergruppe adressieren.

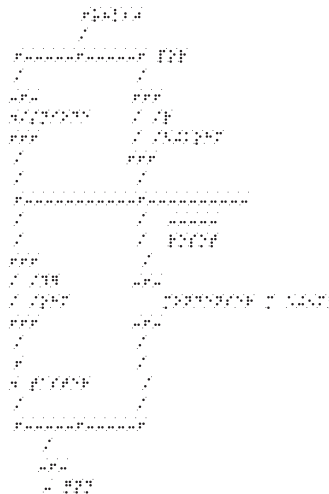
**Grafiken aus (Braille-)Text** MÜLLER und CONSTANTINESCU [MC10] greifen die gängige Praxis des Schreibens von Bildern mittels Braille-Zeichen auf (vergleiche Abschnitt 3.3.1.2). Solche Bilder können zeilenweise auf einer einzeiligen Standard-Braillezeile angezeigt und kontrolliert oder auf Braille-Text-Druckern ausgegeben werden. Nach dem durch MÜLLER und CONSTANTINESCU beschriebenen Vorgehen werden Grafiken durch sehende Personen mittels ASCII Textzeichen so nachgebaut, dass sie den grafischen Strukturen der Originalgrafik entsprechen. Linien werden also durch visuell linienbildende Schwarzschriftzeichen ersetzt (vergleiche Abbildung 4.5 a). In Braille überführt, ergeben sich aus den Textzeichen dann aber keine durchgängigen Linien. Der blinde Leser muss aus dem Braille-Zeichen wieder auf dessen visuelle Gestalt schließen und diese in Relation zu den umgebenden Zeichen setzen, um ein mentales Bild zu erlangen (vergleiche Abbildung 4.5 b). Ein Vorteil dieses Vorgehens ist, dass sich der sehende Transkriptor nicht mit der entsprechenden Braille-Kodierung auskennen muss. Zudem lassen sich Text- und Bildteile einer Grafik im Nachgang voneinander trennen und als Kombination aus Schwarzschrift und Brailleschrift auf Schwellpapier ausgeben. Außerdem ist es hierdurch auch sehbehinderten Autoren möglich, visuelle Grafiken für sehende Leser zu erzeugen.

Im Gegensatz zu MÜLLER und CONSTANTINESCU, die das visuelle Schwarzschriftzeichen als das kleinste bildgebende Element nutzen, setzt TARAS auf den klassischen Ansatz und nutzt die taktile Gestalt der Braille-Zeichen selbst zur Konstruktion von Bildern (siehe Abbildung 4.6). In ihrem Projekt *HBGraphicsExchange* erlaubt sie einen zeilenweisen Zugang zur Ausgabe des Grafikeditors auf herkömmlichen Braillezeilen sowie den Druck auf Braille-Druckern [Tar11, S. 138–145]. Darüber hinaus ist auch das Betrachten und Steuern mittels großflächiger taktiler Stiftplatte möglich (metec BrailleDis 9000 / 7200 – siehe Abschnitt 3.2.2.2). Damit wird der Zugang zum grafisch-taktilen Ergebnis der geschriebenen Grafik unmittelbarer. Dies





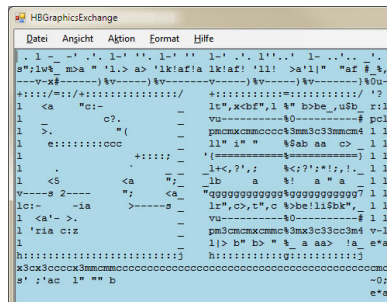
a) ASCII Originalansicht



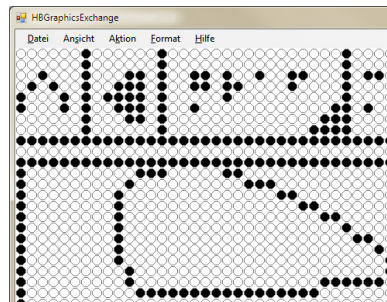
b) ASCII Zeichen in Braille umgewandelt

**Abbildung 4.5:**

Beispiel eines elektrischen Schaltplanes als ASCII-Grafik für blinde Lesende in zwei verschiedenen Ausgabevarianten nach [MC10]



a) ASCII Ansicht in Extended Figure Braille



b) Schwellpapier Ansicht

**Abbildung 4.6:**

Beispiel einer Zeichnung umgesetzt als ASCII-Grafik mit HBGraphicsExchange und deren Vorschau als äquidistanter Druck von Braille-Zeichen [Tar11]

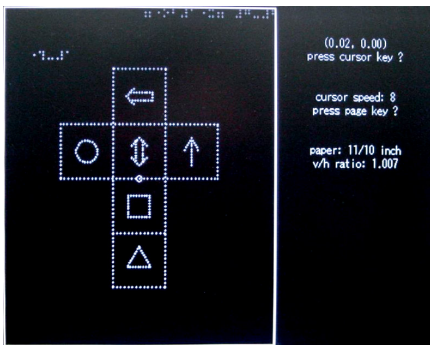
hilft beim Erstellen, Bearbeiten, Verändern und Korrigieren von Fehlern. Über die grafische Benutzungsschnittstelle kann eine sehende Person via Tastatur oder Mauseingabe ebenfalls punkt-basierte Binärgrafiken direkt und intuitiv erstellen oder mit einem blinden Partner zusammenarbeiten.

TARAS geht in ihren Überlegungen noch weiter und beschreibt außerdem ein auf Braille-Zeichen basierendes Dateiformat, das jedem einzelnen Bildpunkt ein eigenes Braille-Zeichen zuweist. Auf diese Weise lassen sich mehr Informationen in einem Bildpunkt kodieren als die einfache binäre Information über einen erhabenen oder abgesenkten taktilen Punkt (alias *Taxel*<sup>5</sup>) – beispielsweise Farbe. Blinde Menschen können damit farbige Bilder selbst erstellen und als visuelle Grafiken ausgeben. Mit weiteren XML-basierten Dateiformaten erlaubt TARAS beispielsweise Objekte zu definieren, diese zu strukturieren und mit Zusatzinformationen zu annotieren.

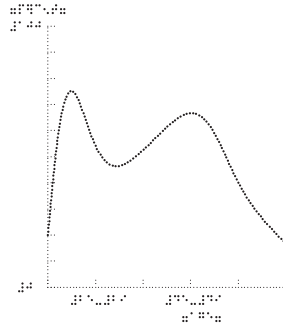
Der zeilenweise Erkundungs- und Erstellungsprozess sowie der Umgang mit Fehlern im Bild erfordert eine große mentale Anstrengung. Auch muss der Grafikautor mit dem komplexen Zeichensatz des 6- beziehungsweise 8-Punkt-Braille sehr gut vertraut sein, um die notwendige und passende Punktstruktur erzeugen zu können. Die Herausforderung besteht darin, Bilder als Abfolge von Text-Zeichen zu erstellen, sie aber als grafische Ausgabe zu interpretieren. Der große Vorteil einer solchen Technik ist jedoch, dass sie relativ leicht von blinden Nutzern erlernt werden kann.

Anmerkung

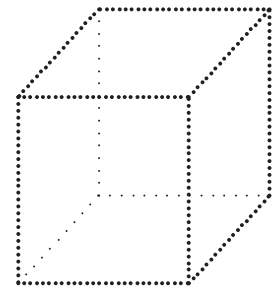
<sup>5</sup> taktilen Pixel



a) Vorschau auf das Plotterergebnis von BPLLOT2 [Fuj+08]



b) Funktionsplot von BPLLOT2 nach [Fuj+08]

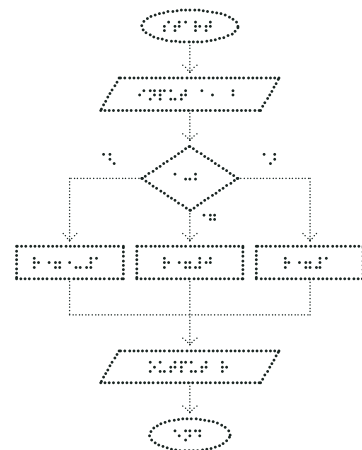


c) 3D Projektion eines Würfels erzeugt mit Bplot 3D [Fuj+10]



d) BPLLOT3 Systemaufbau [Fuj+14] mit GUI inklusive Vorschau des Plottergebnisses (Bildschirm rechts), Konsolen-Text-Interface (Bildschirm oben links) und Fenster zur Ausgabe von Programmfehlern und Statusmeldungen (Bildschirm unten links)

Ein großes Touchpad ermöglicht es einem sehbehinderten Nutzenden, taktile Elemente mittels Mauspositionen punktweise in das System zu übertragen.



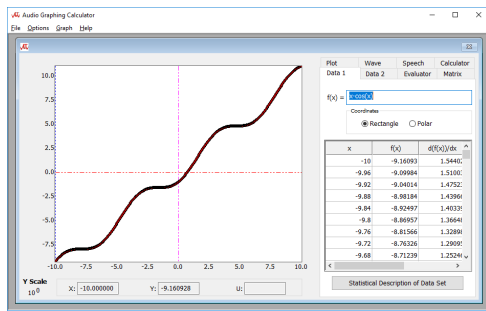
e) Flussdiagramm eines blinden Nutzenden mit BPLLOT4 [Fuj+18]

**Abbildung 4.7:** Evolution und Beispiele des BPLLOT Systems

Mit ihrem *Braille Mapping System* vereinfachen MUKHERJEE, GARAIN, und BISWAS die Erzeugung von Standardformen aus der Geometrie für die Ausgabe auf Braille-Druckern, die *keinen* äquidistanten Druckmodus<sup>6</sup> anbieten [MGB14]. Drucker, die lediglich über einen Standard Braille-Modus verfügen, würden Grafiken im Normalfall verzerren.

Nicht nur Braille-Drucker, sondern auch grafikfähige taktile Drucker mit höheren Auflösungen werden von Grafikeditoren für sehbehinderte Menschen adressiert. Durch die Ansteuerung von solchen hochauflösenden taktilen Druckern ist die Evolutionsreihe der BPLLOT Projekte zu einem mächtigen System zur Erstellung von taktilen Grafiken jeglicher Art geworden. War es zu Beginn noch eine Konsolenanwendung zur Eingabe von Steuerkommando-Abfolgen für den zugehörigen taktilen Plotter, so wurde bereits früh auch die Notwendigkeit zur Kollaboration mit einem sehenden Nutzenden erkannt. In der Version 2 wurde das Programm um eine entsprechende Benutzungsschnittstelle zur Visualisierung des kodierten Bildes erweitert [Fuj+08] (siehe Abbildung 4.7 a).

<sup>6</sup> Ein äquidistanter Druckmodus erlaubt eine regelmäßige Punktmatrix mit gleichen Punktabständen zu den vier Nachbarpunkten für jeden Punkt auf dem Papier. Beim Standard Braille-Modus ist der Abstand zwischen einzelnen Braille-Zeichen bzw. Zeilen und Braille-Punkten innerhalb eines Zeichens unterschiedlich.



a) AGC GUI [Gar02] zur Exploration der mathematischen Funktion  $x \mapsto \cos(x)$  mittels Sonifikation (Bildquelle ViewPlus)



b) Grafik-Stylus mit Vibrationsaktuator zur Erkundung von Funktionsgraphen [BMS08]



c) Taktiles Display genutzt bei Math Class [Alb06]

**Abbildung 4.8:** Systeme für den Zugang und die Interaktion mit mathematischen Funktionen

In der Version 3 wurde eine vollständig parallele GUI zum Textinterface eingeführt, die auch die Eingabe von Punkten mittels Maus oder Touchpad zulässt [Fuj+14]. Letzteres kann ebenso durch einen blinden Nutzenden verwendet werden, um Objekte punktweise abzupausen und in das System zu übertragen. *BPLOT2* [Fuj+08], *BPLOT3* [Fuj+14] und *BPLOT4* [Fuj+14] erlauben keine taktile Kontrolle über das programmierte grafische Ergebnis. Erst der taktile Druck macht dem blinden Autor das Ergebnis zugänglich. Eine visuelle Vorschau gibt jedoch einem sehenden Partner Kontrollmöglichkeiten.

Die Erweiterung *Bplot 3D* stellt dem Nutzenden spezielle Makros bereit, die dreidimensional konstruierte Körper in eine zweidimensionale Projektion abbilden und somit selbständigen Zugang zu und Umgang mit geometrischen Projektionen erlauben [Fuj+10]. In der aktuellsten Version 4 werden neben der erweiterten Liste an unterstützten taktilen Druckermodellen auch Möglichkeiten zur Erzeugung taktiler Funktionsgraphenplots aus der Mathematik bereitgestellt [Fuj+18].

Der Zugang zu Mathematik und die damit in Ausbildung und Beruf einhergehende Auseinandersetzung mit den grafischen Komponenten stellt einen der häufigsten Anwendungsfälle für zugängliche Grafikedatoren dar.

Mathematik

Der AGC (Accessible Graphing Calculator) von *ViewPlus*<sup>7</sup> [Gar02] (siehe Abbildung 4.8 a) bietet mit seinem zugänglichen Taschenrechnerprogramm die Möglichkeit, mathematische Funktionen auditiv zu erkunden (vergleiche Abschnitt 4.1) und den grafischen Funktionsverlauf taktil oder visuell auszudrucken. Der Nutzende kann mittels Tastaturkommandos selbständig schrittweise oder frei durch die einzelnen Wertestufen auf der x-Achse navigieren. *L-MATH* erlaubt neben dem Zugang durch Sonifikation auch eine fühlbare Erkundungsmethode [BMS08]. Die in LaTeX-Schreibweise eingegebenen Funktionen werden als Funktionsgraph visuell dargestellt, sonifiziert, annotiert und können anschließend mit Hilfe eines um einen Vibrationsaktuator erweiterten Grafikstifts taktil exploriert werden (siehe Abbildung 4.8 b).

*Math Class* liefert eine Ergänzung zum klassischen Screenreader, um das Mathematik-Programm *MAPLE* zugänglich zu machen [Alb06]. Die GUI der Mathematik-Anwendung wird durch einen blinden Nutzenden mit Hilfe eines klassischen Screenreaders (*JAWS*) bedient. *Math Class* nutzt das 16 × 24 Stifte große Display von *GWP* (siehe Abbildung 4.8 c), um grafische Ausgaben für blinde Nutzende fühlbar darzustellen. Die 16 Tasten des *GWP* werden dazu genutzt, die taktile Ansicht zu steuern. Die Nutzung der normalen GUI ermöglicht eine Kollaboration mit sehenden Menschen. Durch die Konzentration auf die taktile Ausgabe und

<sup>7</sup> ViewPlus – Url: <https://viewplus.com/>

die Nutzung des Funktionsumfangs von *MAPLE* kann eine zugängliche Anwendung entworfen werden, die sowohl auf einen mächtigen Funktionsumfang zurückgreifen kann, als auch auf Standardprogramme zur Zusammenarbeit mit anderen Menschen setzt. Einzig Probleme in der Zugänglichkeit werden angegangen und überwunden.

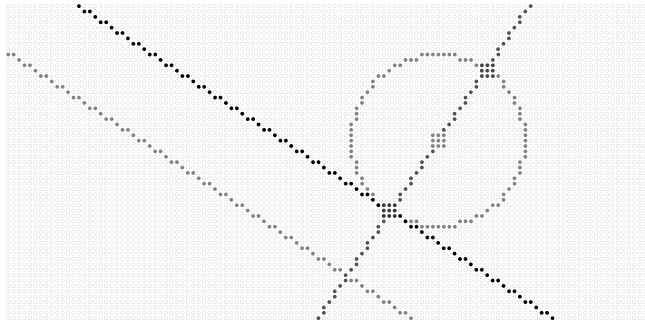
Es gibt auch freie Online-Alternativen für den Zugang zu Mathematik und Geometrie. Die Projekte *GeoGebra* [oGeo19] und *Desmos* [oDes19a] sind auf HTML5 basierende Online-Editoren, die sowohl die Visualisierung und Erkundung von mathematischen Funktionsgraphen, als auch Geometrie-Operationen bereitstellen. Beide Projekte sind mit einem klassischen Screenreader zu bedienen. Auch die visuelle Ausgabe der textuell oder via Tastaturkommandos erzeugten Operationsresultate kann mittels Tastatur angesprungen und erkundet werden. *Desmos* bietet zudem die Möglichkeit der Sonifikation für Funktionsgraphen und deren Besonderheiten, wie beispielsweise Schnittpunkte mit anderen Funktionen [oDes19b]. Die grafischen Resultate können dann als Bild oder Vektorgrafik exportiert werden.

*HyperBrailleGeo* [Bau14] setzt auf die weite Verbreitung des *GeoGebra* Systems zur Erstellung von Printmaterial für den Mathematikunterricht durch Lehrende und bringt die *GeoGebra*-Dateien interaktiv auf ein taktiles Flächendisplay. Als Ausgabegeräte dienen alle Geräte der Firma *metec*<sup>8</sup>, was auch große Ausgabeformate bis  $30 \times 15$  cm ( $120 \times 60$  Stifte) ermöglicht. *HyperBrailleGeo* ermöglicht in erster Linie die grafisch-taktile Darstellung von Funktionsgraphen-Plots und des zugehörigen Koordinatensystems. Darüber hinaus können einzelne Objekte der Darstellung angesprungen und verändert werden. Dazu können die an den Displays verbauten Kontrollelemente oder die grafische Benutzungsschnittstelle der Anwendung genutzt werden. Ein klassischer Screenreader kann ebenfalls zur Steuerung der Anwendung und als Ausgabekanal für Sprachsynthese eingebunden werden. Alle Änderungen an den mathematischen Elementen werden unmittelbar auf dem taktilen Display erfahrbar.

**Geometrie** Neben der Kurvendiskussion und dem Umgang mit Funktionsgraphen stellt die Geometrie und Formenlehre eine der grafischen Herausforderungen für sehbehinderte Menschen dar. Der Umgang und die Erkenntnis über Formen, Gestalt, Räumlichkeit und visuelle Konzepte lassen sich oft nur grafisch-taktil selbst erfahren. Computergestützte Hilfsmittel können auch hier eine große Unterstützung darstellen.

Als eine der ersten können SCHWEIKHARDT und FEHRLE mit ihrem *RETAKO* System auf ein taktiles Flächendisplay mit  $59 \times 119$  Stiften zur grafischen Ausgabe zurückgreifen [SF86]. Das virtuelle Zeichenblatt selbst besteht dabei aus bis zu  $139 \times 199$  Punkten. Der taktil dargestellte Bildausschnitt kann frei verschoben werden und das Endergebnis an einen taktilen Drucker gesendet werden. Das *RETAKO* Programm dient zur Konstruktion von Zeichnungen aus dem Bereich der Geometrie. Dabei greift es auf die Sprachdomäne dieses Nutzungskontextes zurück und lässt die grafische Ausgabe mittels freier Text-Kommandos in natürlicher Sprache schrittweise konstruieren. Diese werden im Zuge eines Dialoges, bei dem das Programm auch Fragen zu weiteren Informationen stellen kann, über eine Tastatur in das System eingegeben. Jedes Ergebnis eines Konstruktionsschrittes wird unmittelbar als taktile Grafik auf dem Flächendisplay dargestellt (siehe Abbildung 4.9). Somit kann eine blinde Person kontrollieren, ob der Interpreter das Kommando richtig erkannt hat, der Konstruktionsschritt selbst zielführend war und kann darauf aufbauend die nächsten Schritte planen. Der Umfang an Formen und Funktionen ist jedoch mit Punkt, Strecke, Strahl, Gerade, Kreis und Ellipse auf die Domäne der Geometrie beschränkt. Zusätzlich lassen sich Konstruktionshilfen, wie Winkel, Parallelen und Lote, eintragen sowie mathematische Funktionsverläufe ausgeben. Ein umfangreiches Hilfeprogramm soll Nutzenden den Einstieg in die Geometrie sowie die Nutzung des Systems erleichtern.

<sup>8</sup> metec AG – Url: <https://www.metec-ag.de/>

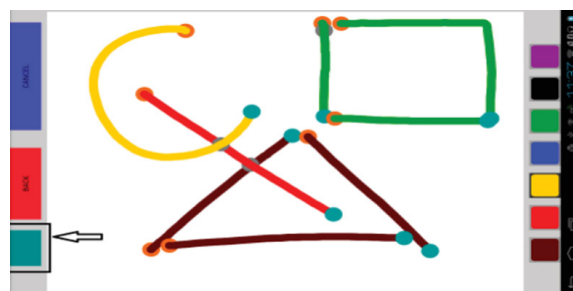
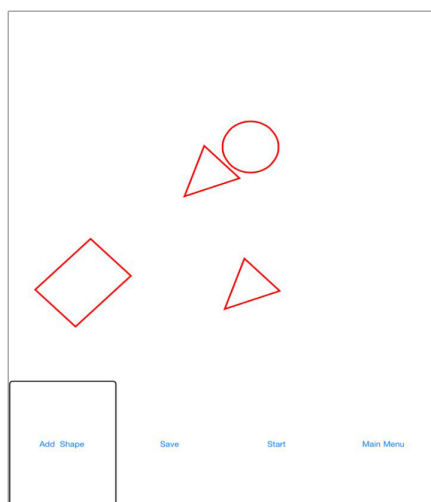
**Abbildung 4.9:**

Beispiel einer Geometrieaufgabe zur Konstruktion einer Tangente an einen Kreis mit Hilfe des *RETAKO* Systems von SCHWEIKHARDT und FEHRLE [SF86]:

Basis = Gerade G und Kreis K um Punkt P – Anzeige auf Stiftplatte (119 x 59 Pins) nach Eingabe von: (1) Zeichne eine Strecke L zur Gerade G durch den Punkt P; (2) Schneide das Lot L mit Kreis K; (3) Schnittpunkt K und L = SP1 und (4) SP2; (5) Zeichne Parallele TGT zur Geraden G durch den Schnittpunkt SP2

*Draw and Drag* [Gru15] beziehungsweise *AudioDraw* [GF16] will mit seiner rein auf Touchscreens basierenden Anwendung blinden Menschen den Zugang zu geometrischen Formen ermöglichen und damit ein besseres Verständnis für Zusammenhänge und Formen vermitteln. Es ermöglicht, auf einem *Apple iPad*<sup>9</sup> Tablet geometrische Primitive an der letzten Fingerposition mittels Double-Tab zu platzieren und anschließend durch Gesten in Größe und Ausrichtung anzupassen. Kontinuierliches TTS wird genutzt, um Nutzenden Orientierung über den Mittelpunkt und anschließend über die Ausdehnung einer erstellten Form zu vermitteln. Eine zugängliche Menüleiste mit mehreren großen Schaltflächen am unteren Rand des Touchscreens steuert die Anwendung und die Ansicht, welche auch Zooming zulässt (siehe Abbildung 4.10 a).

*Play with geometry* möchte sehbehinderten Kindern Geometrie näher bringen [Buz+15a]. Faktisch wird allerdings Freihandzeichnen ohne weitergehende Unterstützung zum Erstellen von geometrischen Primitiven bereitstellt (vergleiche Abbildung 4.10 b). Es erlaubt die freie Eingabe von farbigen Linien auf einem klassischen mobilen Touchscreen-Gerät (Tablet) mit einem Finger. Erstellte oder geladene Bilder werden in klassischer *Explore-by-Touch*-Technik erkundet, wobei im Erkundungsmodus Linien und vor allem Kreuzungspunkte zwischen Linien mittels Vibration und Soundsamples an den Leser ausgegeben werden.



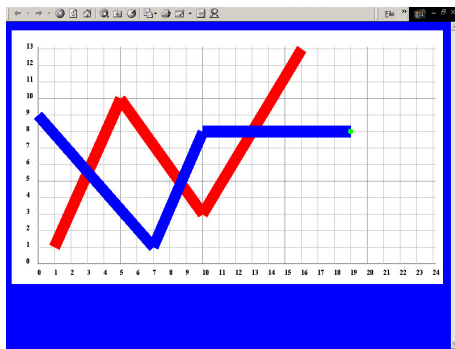
b) Freihandzeichnenmodus der *Play with geometry* Anwendung [Buz+15a] auf einem Tablet

a) *Draw and Drag* Anwendung [GF16] für ein Tablet – via Gesten platzierte geometrische Formen im oberen Zeichenbereich und zugängliches Menü am unteren Bildschirmrand

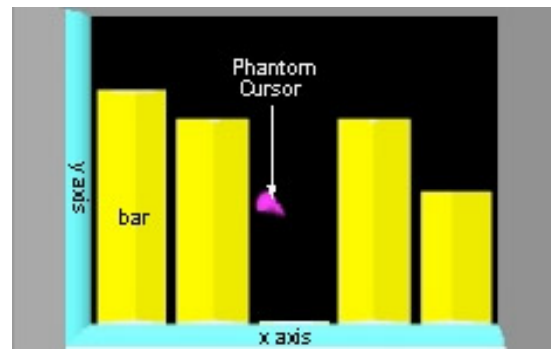
**Abbildung 4.10:** Systeme für Geometrie-Zeichnungen auf Touchscreens

<sup>9</sup> Apple – Url: <https://www.apple.com/>





a) Webinterface von YU, KANGAS und BREWSTER zur Exploration mit Force-Feedback-Maus und Sonifikation [YKB03]



b) Balkendiagramm zur Erkundung per *Phantom* Force-Feedback-Gerät [MB06]

**Abbildung 4.11:** Force-Feedback Systeme für den Zugang zu Diagrammen

**Diagramme** Die Visualisierung von Daten dient oft der Analyse oder Präsentation in Dokumenten. Es liegt also nahe, dass es auch Projekte gibt, die sich mit dem Zugang zu Diagrammen auseinandersetzen. YU, KANGAS und BREWSTER nutzen eine Force-Feedback-Maus (*Logitech WingMan*), um sehbehinderten Nutzern mit einer speziell entwickelten Webanwendung den Zugang zu Datensätzen zu ermöglichen [YKB03]. Diese werden als einfache Linien- oder Balkendiagramme in einem maximal  $25 \times 14$  großen Datenraster visualisiert. Es können zwei verschiedene Datensätze miteinander verglichen werden (siehe Abbildung 4.11 a). Die Eingabe der Daten kann über HTML-Eingabemasken unter Zuhilfenahme eines normalen Screenreaders erfolgen. Des Weiteren können Datenpunkte auch direkt in das zweidimensionale virtuelle Datenraster via Tastatur oder FF-Maus eingefügt werden. Das Raster wird dabei als spürbare Kraft an die FF-Maus übertragen, sodass Nutzende die Rasterschritte abzählen können. Das Interaktionskonzept folgt dem klassischen Spannen von Gummis zwischen zwei oder mehreren Nadelpunkten, um Linienzüge zu erzeugen (siehe Abschnitt 3.3.1.2 – *Spezielle manuelle Methoden für sehbehinderte Menschen*). Die dargestellten Daten können anschließend mit der Tastatur oder mit der FF-Maus erkundet werden. Linien und Raster werden spürbar als überwindbare Kräfte verschiedener Intensitäten übertragen. Zudem werden Datenwerte und Ähnliches als Sprachsynthese ausgegeben.

Das *MultiVis/Graph Builder* System nutzt ein *Phantom* FF-Gerät, um Balken und Liniendiagramme erfahr- und editierbar zu gestalten [MB06]. Die wichtigen Datensatzstrukturen werden dabei als negative V-förmige Objekte realisiert, die mit dem Krafrückmeldesystem leichter zu finden und zu betrachten sind (siehe Abbildung 4.11 b). Nutzende können die Datensätze mit dem *Phantom* mittels direkter Manipulation durch Drücken oder Ziehen abändern.

**Graphen** Auch der Umgang mit Graphenstrukturen – also Graphen (gerichtet oder ungerichtet) bestehend aus Knoten und verbindenden Kanten – stellt ein Problemfeld dar, dem sich oft grafisch genähert wird. Mit dem *Universally Accessible Graph SKetching (GSK)* Programm wollen BALIK et al. blinden Studierenden einen kollaborativen Zugang zu Graphenstrukturen ermöglichen [Bal+13]. Dabei wird der Standard-Screenreader zur Interaktion mit der GUI der Applikation verwendet. Zwei verschiedene Darstellungsformen erlauben das Erkunden und Erstellen von Knoten und Kanten eines verbundenen Graphen. Die erste ist eine klassische zweidimensionale Visualisierung von Knoten und deren verbindenden Kanten. Die zweite ist ein tabellenartiges Raster, in dem Knoten platziert werden können (siehe Abbildung 4.12 a). Diese können im Nachgang mittels Eingabemasken näher spezifiziert und mit anderen Knoten verbunden werden. Über Tastenkommandos können Betrachtende durch den Graph navigieren. TTS und Braillezeile geben hinterlegte Informationen zum aktuellen Knoten und seinen Kanten aus.

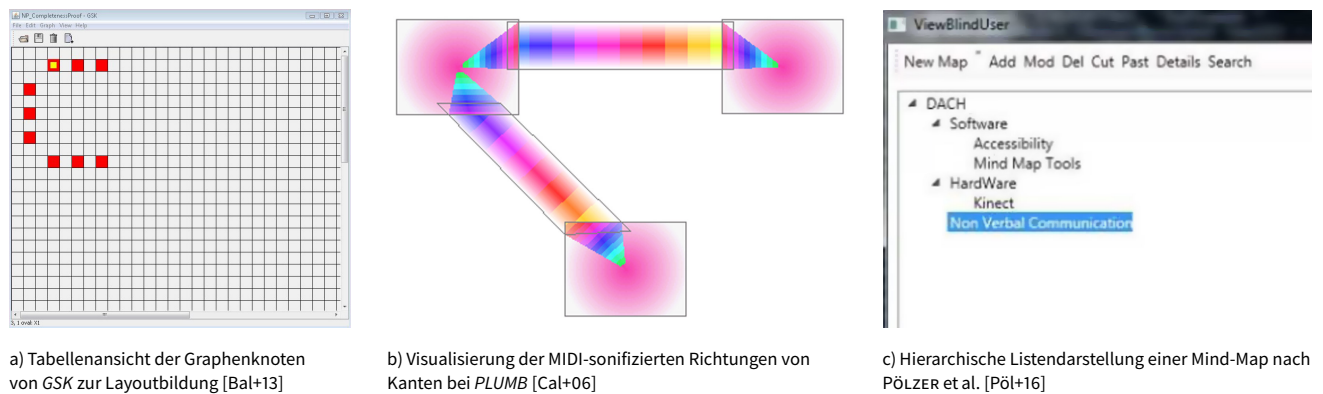


Abbildung 4.12: Systeme zur Interaktion auf Graphen

METATLA, BRYAN-KINNS und STOCKMAN behaupten sogar, dass das Arbeiten auf gerichteten Graphen durch ein rein auditives Interface mit Tastaturunterstützung möglich ist [MBS08]. Der Graph selbst wird Nutzenden durch Sprachsynthese und Töne vermittelt. Veränderungen oder Eingaben sollen durch einen in natürlicher Sprache geführten Dialog möglich sein. Ähnliches verspricht das PLUMB Projekt, welches die Verbindungen zwischen den einzelnen Knoten durch Sonifikation in ihrer Datenflussrichtung darstellt [Cal+06] (siehe Abbildung 4.12 b). Knoten werden durch Sprachausgabe näher beschrieben. Gesteuert wird PLUMB über ein Grafiktablet oder über die Tastatur.

Einer besonderen Art von Graphen widmen sich PÖLZER et al., die das kollaborative Arbeiten mit Kreativtechniken auch für blinde Menschen zugänglich machen wollen [Pöl+16]. In erster Linie beschäftigen sie sich dabei mit Mind-Maps auf Tabletop-Geräten, die sehbehinderten Menschen als synchronisierte hierarchische Liste über ein zusätzliches Interface zugänglich gemacht werden (siehe Abbildung 4.12 c). Dieses wird mit einem klassischen Screenreader bedient und ermöglicht das Lesen, Verändern, Wahrnehmen von externen Veränderungen und sogar rudimentär den Zugang zu den deiktischen (zeigenden) Gesten der anderen Teilnehmenden des Kreativprozesses. Die Anbindung eines zweidimensionalen taktilen Displays zur Erschließung der grafisch-strukturierenden Komponente wird ebenfalls diskutiert [PM15].

Im DiGVis System wird eine spezielle Hardware zur Eingabe mit einem einfachen taktilen Display zur Ausgabe verbunden [SCS16]. DiGVis soll blinden Menschen Zugang zu gerichteten Graphen, beispielsweise Flussdiagrammen, ermöglichen (siehe Abbildung 4.13 c). Als Eingabe dient ein spezielles Keyboard, das über eine Matrix von  $4 \times 6$  Tastern verfügt (siehe Abbildung 4.13 a), über die das Referenzraster zur Platzierung von Graphenkn timer direkt angesprungen werden kann. Zur taktilen Ausgabe dienen zwei Reihen von jeweils vier vibro-taktilen Aktuatoren (siehe Abbildung 4.13 b). Die obere Reihe dient dabei der Übermittlung von Richtungsinformationen für ein- oder ausgehende Kanten, die untere Reihe zur Identifikation der zugehörigen Spalte des Zielknotens im  $4 \times 6$  Raster der Tastatureinheit. Eine GUI erlaubt die Kollaboration mit einem sehenden Menschen und bietet zudem Zugang zu Menüstrukturen, die zur Erstellung und Definition der einzelnen Knotenpunkte notwendig sind. TTS oder Sonifikation können als zusätzliche Ausgabemodalitäten zur Erkundung eingestellt werden.

Feste und teilweise unveränderliche taktile Strukturen, die einen verlässlichen Rahmen für Interaktionen bieten, werden gerne als referenzbildende Hilfen für interaktive Systeme eingesetzt. SUGIMOTO et al. platzieren eine  $9 \times 9$  große taktile Lochmatrix auf einem Grafiktablet, um damit Punktmuster eingeben zu lassen [SIS04] (siehe Abbildung 4.14 a). Diese Punktmuster können dann in einem durch Sonifikation aufgespannten virtuellen Sound-Screen erfahren werden, indem die gesetzten Punkte sequentiell nacheinander abgespielt werden. taktile Auflagen



a) DiGVis 4 × 6 Eingabekeyboard zur Navigation im Graph



b) zwei mal vier Vibrationsaktuatoren zur Ausgabe von Informationen



c) Flussdiagramm erstellt mit DiGVis

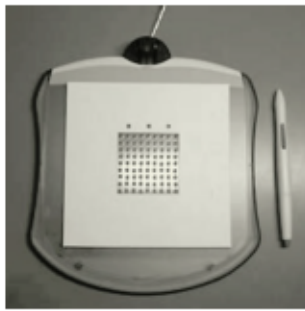
**Abbildung 4.13:** DiGVis-Systemkomponenten nach [SCS16]

Einen deutlich größeren Interaktionsraum stellt das *Talking Tactile Tablet (TTT)* zur Verfügung [LG01]. Das *TTT* [oTou16] in Verbindung mit der zugehörigen Autorensoftware für audio-taktile Grafiken und Anwendungen [oTou08] kann ebenso von blinden Menschen zum Erstellen von Grafiken genutzt werden. Eine statisch-taktile Auflage, die auf einen berührungssensitiven Rahmen gespannt wird, bietet über mehrere festgelegte und taktile erfahrbare Schaltflächen (fünf-Tasten-Cursorkreuz, 3 × 4 Tasten Nummernblock, Quit-Taste – vergleiche Abbildung 4.14 b) die Möglichkeit, das Autorenwerkzeug zu bedienen [LG01]. Durch die Abbildung von Berührungspunkten auf Mauskoordinaten in der GUI können Formen oder audio-taktile Interaktionsbereiche punktweise in das System eingetragen werden – ähnlich wie bei *BPLOT3* [Fuj+14]. So ist es Nutzenden möglich, reale Objekte auf dem *TTT* zu platzieren und dann punktweise abzapausen, um sie in eine virtuelle Grafik zu überführen.

Das *TouchBlaster NOMAD Pad* war eines der ersten audio-taktilen Systeme [Par88]. Mit der dazu angebotenen *NOMAD CAD* (Can Anyone Draw?) Software und einer speziell dazu ausgelieferten taktilen Auflage können Nutzende digitale Grafiken erstellen [Par91]. Dazu können Funktionen, wie das Erstellen von einfachen Formen (Linien, Kreise etc.) oder Manipulationsoperationen, durch Berührung des zugehörigen taktilen Icons auf der mitgelieferten Auflage ausgeführt werden. Die erzeugte Grafik kann dann als Bilddatei oder taktiler Ausdruck auf einem Braille-Drucker verteilt werden. Alle erstellten grafischen Elemente können annotiert werden. Diese Annotationen und andere Systemrückmeldungen werden mittels synthetischer Sprachausgabe oder vorher aufgezeichneten Tondateien ausgegeben. Das zu zeichnende Element wird über die Fingerposition auf dem Pad genauer bestimmt. Einzelne Formen können im Nachgang wieder gesucht werden. Um deren Position auf dem Zeichenblatt wiederzufinden, wird der Nutzende nach einer Berührung durch Richtungsangaben schrittweise an die entsprechende Position geführt.

**taktile Hilfsraster** Mit dem *Kevin* System lassen sich matrixförmige, tabellarische Strukturen erkunden oder bearbeiten, wie zum Beispiel Datenflussdiagramme [BE98]. *Kevin* setzt dabei auf ein berührungssensitives 10 × 10 Felder großes Tabellenfeld, das mittels weiterer 44 taktile markierter (Tactons) Bereiche bedient wird (siehe Abbildung 4.14 c). Diese Felder und Funktionsbereiche geben via TTS Informationen zum Tabellenfeld oder Rückmeldungen über Funktionen, die gerade ausgeführt wurden.

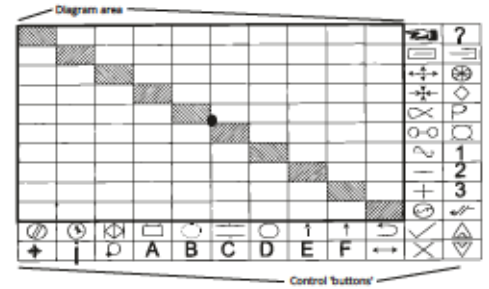




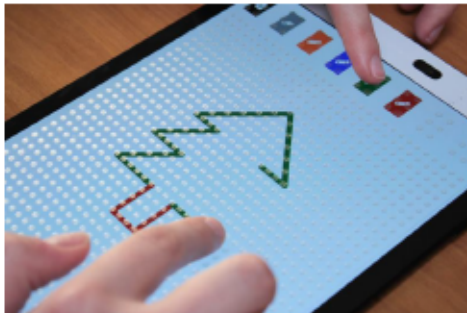
a)  $9 \times 9$  Lochmatrix auf Grafiktablet zum Erkunden und Eingeben von Mustern [SIS04]



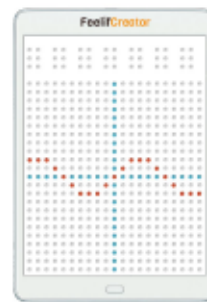
b) *Talking Tactile Tablet* mit taktiler Auflage und Standardbedienelementen am rechten Rand – <http://touchgraphics.com> [oTou16]



c) Taktile Auflage für das Touch-Tablet der *Kevin* Anwendung zur Interaktion auf  $N^2$  Diagrammen [BE98]



d) *Feelif Draw* Anwendung auf *FeelifPro* Tablet [oFee18a]



e) *Geometric Functions* auf einem *Feelif Creator* Tablet [oFee18b]



f) Holzraster über Touchscreen [oGG09]

**Abbildung 4.14:** Grafiksysteme mit fester taktiler Auflage

Die auf dem *Android*<sup>10</sup> Betriebssystem basierenden Mobilgeräte von *Feelif*<sup>11</sup> sind mit einem regelmäßigen Muster erhabener Punkte versehen, die dem Nutzenden bei der Bedienung von Touch-Anwendungen Referenzen liefern sollen (siehe Abbildung 4.14 d und e). Über den Touchscreen können Anwendungen, Grafiken und mathematische Funktionen mittels Sound, TTS und Vibration erfahren werden. Blinde Nutzende können mit der *Feelif Draw* Anwendung farbige Liniengrafiken zeichnen [oFee18a] und erkunden (siehe Abbildung 4.14 d). Die gezeichneten Linien werden, je nach Farbe, durch unterschiedliche Musikinstrumente sonifiziert. Die Richtung der gezeichneten Linie bestimmt die Tonhöhe des Instruments. Über die Geräte ist auch ein Zugang zu mathematischen Funktionsgraphen möglich [oFee18b] (siehe Abbildung 4.14 e).

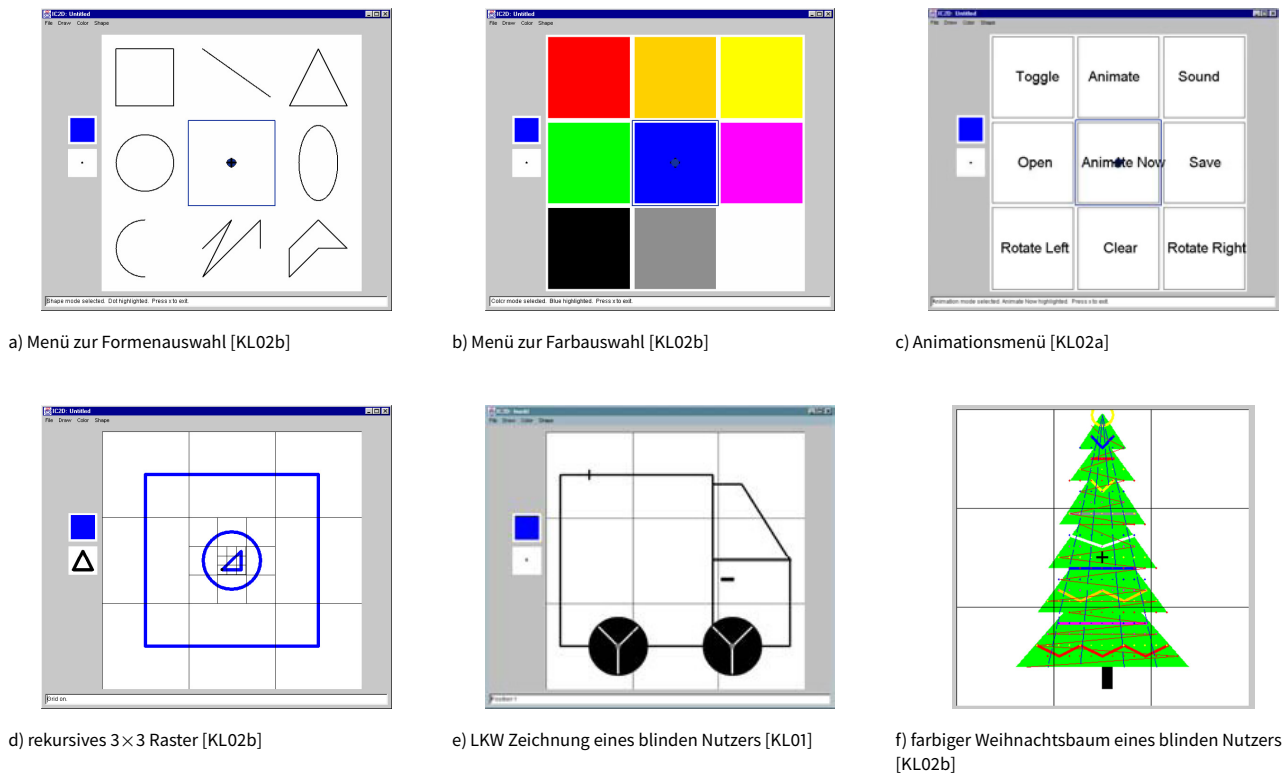
Das rudimentäre Zeichenprogramm von GREVE [oGG09] setzt ebenfalls auf das Aufzeichnen von Fingerbewegungen auf einem klassischen Touchscreen. Im Erkundungsmodus kann eine blinde Person dann mittels *Explore-by-Touch* die Zeichnung mit einem Finger abfahren. Farbige Bereiche erzeugen dabei einen Ton. So muss sich der Nutzende das gezeichnete Bild erschließen. Ein zusätzlich über dem Touchscreen angebrachtes Raster aus Holzstäben teilt die Zeichenfläche in gleichmäßig große Bereiche und soll mehr Orientierung zum Zeichnen und Interagieren bieten (siehe Abbildung 4.14 f).

Feste Rasterstrukturen bieten oft einen verlässlichen Interaktionsraum und Orientierungshilfen. Das *IC2D* Projekt von KAMEL und LANDY [KL99] setzt auf ein  $3 \times 3$  großes virtuelles (Interaktions-)Raster, das sich hierarchisch rekursiv auf ein  $27 \times 27$  großes Raster ausdehnen lässt (siehe Abbildung 4.15 d). Darin können (blinde) Nutzende Objekte oder Punkte für

Interaktionsraster

<sup>10</sup> Android – Url: <https://www.android.com/>

<sup>11</sup> Feelif – Url: <https://www.feelif.com/> – zuletzt besucht Juni 2019



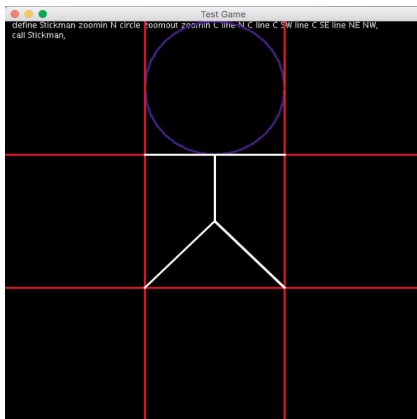
**Abbildung 4.15:** GUI und Beispiele für Zeichnungen blinder Nutzender des IC2D Programms

komplexe Polygone oder Linienzüge platzieren. Das  $3 \times 3$  Raster lässt sich einfach und sehr intuitiv mit dem Nummernblock der Standard-(QWERTZ-)Tastatur bedienen. Weitere Funktionen können entweder direkt über Tastenkommandos der Tastatur oder durch hierarchische Menüs gesteuert werden. Auch die Menüs werden im  $3 \times 3$  Raster präsentiert, navigiert und bedient (siehe Abbildung 4.15 a–c).

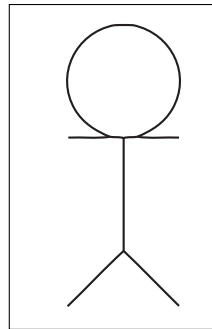
IC2D hat zwei verschiedene Modi. Im ersten werden Objekte und Formen erstellt und platziert. Im zweiten Modus können diese Objekte in hierarchischen Strukturen organisiert und es können ihnen Namen oder Zusatzinformationen in Textform hinzugefügt werden [KL01]. Diese Informationen (Name, Typ, Position) werden ausgegeben, wenn man sich explorierend über die Zeichenfläche bewegt. Der große Vorteil von IC2D ist, dass Nutzende Punkte im 2D-Raum schnell (wieder)finden, identifizieren und in Relation zueinander setzen können. Damit werden Nutzende in die Lage versetzt, Längen und Winkel von Linien präzise zu bestimmen und diese damit auch exakt miteinander zu komplexen Bildern zu verbinden. Mit IC2D ist auch die Erstellung einfacher Animationen als Abfolge von Bildern mit vordefinierten Objektbewegungen, wie Rotation, Ein- und Ausblenden oder Pfadanimation möglich [KL02a].

Setup 09 nutzt ebenfalls ein solches rekursives  $3 \times 3$  Raster. Allerdings werden Positionsangaben innerhalb des Rasters als Kompassrichtungen definiert und ausgegeben [Fer15; oFO18] (siehe Abbildung 4.16). Die Navigation innerhalb des Rasters erfolgt durch natürliche Sprache. Die Positionsbestimmungen mittels Kompasspositionen sollen den Sprachfluss für die Ein- und Ausgabe deutlich angenehmer machen als mit Hilfe von Zahlen.

dynamisch-taktile Displays Während IC2D und Setup 09 auf die rein auditive Erschließung von Grafiken setzen, sehen andere Projekte – ähnlich wie RETAKO [SF86] oder Math Class [Alb06] – den Bedarf für dynamisch veränderliche taktile Rückmeldung für Zeichenoperationen.



a) GUI von Setup09



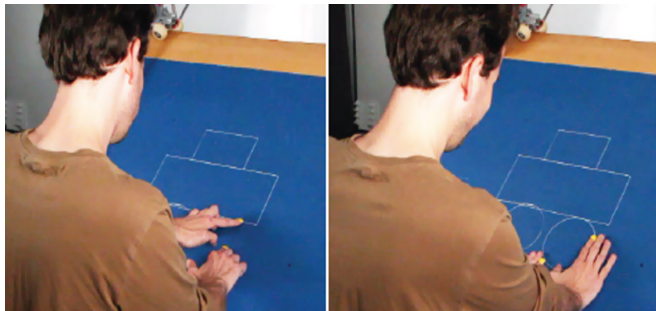
b) Strichmännchen-Zeichnung

**Abbildung 4.16:**

Beispiel zur Konstruktion eines Strichmännchens mit dem *SETUP09* System [oFO18] und Zeichnung eines blinden Nutzers.

Ortsangaben für die Zeichenkommandos basieren auf Himmelsrichtungen:

(1) zoomin N; (2) circle; (3) zoomout; (4) zoomin C; (5) line N C; (6) line C SW; (7) line C SE; (6) line NW NE

**Abbildung 4.17:**

Zeichnung eines Autos mittels Fingergesten und Sprachkommandos mit dem *Linespace* System [Swa+16]

Das *Linespace* Projekt setzt auf eine extrem großflächige taktile Ausgabe ( $140 \times 100$  cm) [Swa+16]. Diese Anzeigefläche wird mittels eines beweglichen Extruder-Kopfes für 3D-Drucker mit fühlbaren Linien aus Druckfilament<sup>12</sup> beschrieben. Eine kleine Fräse neben dem Druckkopf kann die aufgetragenen Strukturen wieder vom Trägertisch lösen und damit löschen. Zur Interaktion mit dem System wird auf Fingerzeigegesten, welche über Kameramarker erfasst werden, und Sprachkommandos zurückgegriffen, um den Einsatz von Tastatur und Maus auf ein Minimum zu reduzieren. Über die Zeige- und Sprachkommandos lassen sich auch einfache Zeichnungen aus Standardformen, wie Linien, Rechtecken und Kreisen, anfertigen (siehe Abbildung 4.17). Komplexere Elemente lassen sich der Zeichnung über einen 3D-Extruder-Stift (z. B. *3Doodler*, siehe Abschnitt 3.3.1.2 Abbildung 3.39 b Seite 66) hinzufügen. Diese werden jedoch nicht in das digitale Pendant übernommen. Allgemein wünschten sich Nutzende, dass sie das taktile Ergebnis exportieren oder mitnehmen können.

Andere Zeichensysteme setzen auf deutlich kleinere und Pin-basierte<sup>13</sup> taktile Ausgabegeräte mit geringerer Auflösung als dies bei *Linespace* der Fall ist. TAKAGI, MORII und MOTOYOSHI entwickelten einen Grafikeditor, der das Erstellen von Graphen auf einem taktilen Flächendisplays ermöglicht [TMM15]. Als Ausgabegerät dient das *DotView2* Display mit  $48 \times 32$  Pins; die gesamte virtuell zur Verfügung stehende Zeichenfläche beträgt  $96 \times 64$  Pins. Zur Eingabe werden entweder die Standard-(QWERTZ-)Tastatur oder Fingergesten, welche über eine Webcam erfasst werden, genutzt. Die Nutzereingaben werden einigen Standardformen, wie Rechteck, Rhombus, Linie oder Pfeil, zugeordnet, sodass nur ideale Formen für das Zusammensetzen

<sup>12</sup> Kunststoffmaterial, das durch Erhitzen und Abkühlen zum Aufbau von dreidimensionalen Strukturen in 3D-Druckern genutzt wird

<sup>13</sup> kleine Stifte, die einen punktförmigen taktilen Eindruck vermitteln

von Grafiken zur Verfügung stehen. Zeichenelemente können via Fingergeste in Ausdehnung und Position auf der Zeichenfläche definiert oder per Tastaturkommando in der Mitte der Zeichenfläche platziert werden. Die Formen können anschließend editiert und platziert werden. Um wahrnehmbar zu bleiben, stellt dabei ein Pin das kleinste Maß der Veränderung dar.

WEBER nutzt ebenfalls eine frühe Version eines zweidimensionalen taktilen Stiftdisplays mit  $59 \times 119$  Stiften (siehe Abschnitt 3.2.2.2 – *Taktile Flächendisplays*) für sein Zeichenprogramm *KOFT* [Web89a, S. 117–124]. Im Gegensatz zu SCHWEIKARDTS Dialogsystem kann WEBER bereits auf Zeige- und Zeichengesten auf dem taktilen Display zur Interaktion zurückgreifen. Dabei lassen sich Standardformen, wie Kreis, Rechteck und Linie, aber auch Freihandzeichnungen und Text-Objekte in Braille oder Schwarzschrift einfügen und verändern. Formen können per Mittelpunktdefinition oder Formengeste platziert, via Zwei-Finger-Geste in ihrer Ausdehnung aufgespannt oder direkt als freier Fingerpfad definiert werden. Die Zeichnung kann dann auf der taktilen Ausgabefläche frei erkundet und als Bilddatei oder taktiler Ausdruck verteilt werden.

taktile Displays mit Stifteingabe Taktile Flächendisplays werden von verschiedenen weiteren Systemen nicht nur zur Ausgabe von taktilen Grafiken genutzt. In Kombination mit einem stiftähnlichen Eingabegerät werden Nutzerinteraktionen digitalisiert und mit direkter taktiler Rückmeldung ausgegeben.

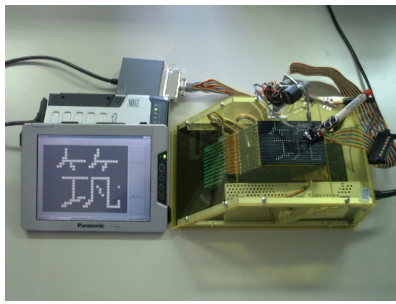
HEADLEY und PAWLUK [HP10b] nutzten eine Kombination aus Maus und taktilem  $2 \times 4$  Punkt Braille-Matrix-Element zur Ein- und Ausgabe von Zeichnungen. Dabei ist das taktile Display-Modul, was als virtuelles großflächiges taktilen Display fungiert, sogar in der Lage, variable Höhen der taktilen Stimuli auszugeben [HP10a] und damit zum Beispiel Farben durch taktile Muster zu ersetzen. Parallel zur Eingabe via taktiler Maus kann ein Grafik-Stylus für Freihandzeichnungen eingesetzt werden.

KOBAYASHI und WATANABE nutzen für ihr *MIMIZU* System ein  $32 \times 24$  Stifte großes Display (SC-5 von KGS). Dieses erweitern sie erst mit einem steif über Hebel und Gelenke verbundenen Digitalisierungsstift [KW02] (siehe Abbildung 4.18 a), der später durch eine kabellose Variante und zusätzliche statisch-taktile Regionen zur Interaktion neben der Displayfläche ersetzt wird [KW04] (siehe Abbildung 4.18 b). Hiermit ist es möglich, stiftbasierte Freihandzeichnungen zu digitalisieren und in Echtzeit taktil und dynamisch veränderlich auszugeben. Durch den Wechsel des Zeichenmodus in einen Löschen-Modus – z.B. durch Bewegen des Stiftes auf eine der externen taktilen Markierungen – können gezeichnete (erhabene) Bereiche wieder punktweise gelöscht (abgesenkt) werden.

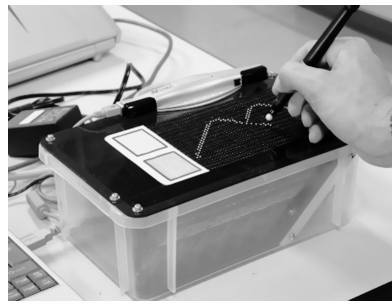
In [Wat+06] nutzen WATANABE et al. das *MIMIZU*-System mit zwei verschieden großen taktilen Displays: Zum einen ein  $64 \times 48$  Pin großes KGS GD-8x6B und zum anderen das nur halb so große KGS DV-1 mit  $32 \times 14$  Stiften. Zur Eingabe wird hier ein Gerät zur 3D-Digitalisierung verwendet (siehe Abbildung 4.18 d), das auf die taktile Ausgabefläche kalibriert wird. Auch hier kann der blinde Nutzende zwischen zwei Modi zur direkten Manipulation von einzelnen Stiften auf dem Display wechseln. Der erste setzt Stifte, der zweite kann gesetzte Stifte löschen. Die Hauptintention des untersuchten Einsatzgebietes ist die Unterstützung der grafischen Kommunikation zwischen einem Lehrer und einem blinden Schüler. Dazu ist das taktile Display an einen Tablet-Computer gekoppelt, über den eine sehende Person nicht nur die Zeichnungen vom blinden Schüler einsehen, sondern auch mittels Stifteingabe Zeichnungen an das taktile Anzeigegerät senden kann.

NISHI und FUKUDA greifen die Ideen und die Hardware des *MIMIZU*-Systems auf und kombinieren das *DotView* Display ( $32 \times 24$  Pins) mit einem Ultraschall-Digitalisierungsstift (siehe Abbildung 4.18 c), um eine zugängliche Anwendung für Geometrie zu bauen [NF06]. Sie benutzen den Stift jedoch nicht zum Freihandzeichnen, sondern für einfache Zeigegesten und zur auditiven Exploration. Er dient somit der Kompensation fehlender Berührungssensorik

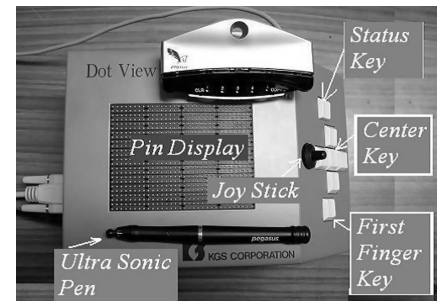




a) MIMIZU taktiles Display mit Interaktionsstift  
(Bildquelle <http://www.cs.k.tsukuba-tech.ac.jp>)



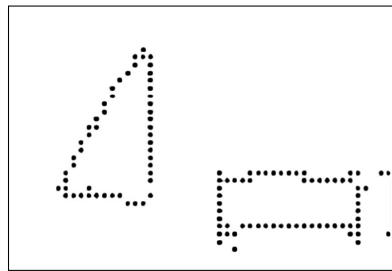
b) MIMIZU mit kabellosem Stylus und zwei extra angebrachten taktile Regionen [KW04]



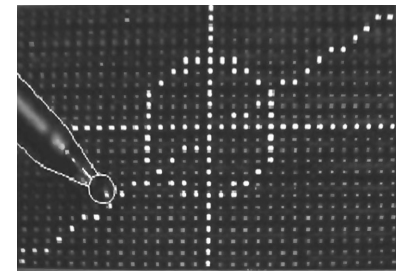
c) Taktiles Zeichensystem von NISHI und FUKUDA [NF06]



d) Zeichensystem im schulischen Einsatz [Wat+06]



e) Beispiel einer Zeichnung mit MIMIZU nach [KW04]



f) Beispiel einer Geometriezeichnung von NISHI und FUKUDA nach [NF06]

**Abbildung 4.18:** Zeichensysteme mit taktilem Display und Stifteingabe

auf dem Display. Aus einer grafisch-taktilen Palette an Standardformen (Linie, Kreis, Ellipse, Parabel, Sinuskurve) können Nutzende Formen wählen und auf der Zeichenfläche platzieren (siehe Abbildung 4.18 f). Danach kann das Objekt, unter Zuhilfenahme eines am *DotView* verbauten Joysticks (siehe Abbildung 4.18 c), intuitiv editiert werden. Die Veränderungen können in Echtzeit mit der zweiten Hand auf dem taktilen Display nachverfolgt werden. Objekte auf der Zeichenfläche können auch noch im Nachgang mit einer blinkenden Eingabemarke sequenziell angesprochen und bearbeitet werden. Während der Exploration mit dem Stift oder beim Editieren werden Zusatzinformationen, wie Positionierung und Ausdehnung, und deren räumliche Relationen zu anderen Objekten durch TTS ausgegeben.

Als weiteres Ein- und Ausgabegerät können Krafterückmeldesysteme zur Übermittlung von Informationen durch kinästhetische Reize genutzt werden. Das *AHEAD* System erlaubt durch die Nutzung eines *Phantom* Krafterückmelders mit drei Freiheitsgraden den nicht-visuellen Zugang zu Linienzeichnungen [RME07] (siehe Abbildung 4.19 a). Nutzende können Reliefgrafiken auf der virtuellen, vertikal im Raum platzierten Interaktionsfläche erkunden. Dabei können erhabene (zum Lesenden hin) und abgesenkte (vom Lesenden weg) Strukturen vermittelt werden. Kodiert werden diese Informationen als Graustufenbilder, wobei die Helligkeitswerte mit horizontalen Tiefenwerten assoziiert werden (Basis ist grau; dunkler ist positiv; heller ist negativ). Durch diese einfache Kodierung lassen sich auch extern erstellte Grafiken laden und betrachten oder mit dem System erstellte Bilder als visuelle Grafiken exportieren (vergleiche Abbildung 4.19 b). Es können entweder über den Krafterückmelder oder mittels Maus Linien in die Grafik gezeichnet werden. Diese lassen sich im Nachgang editieren, löschen, duplizieren und mit textuellen Informationen anreichern. Diese Texte werden dann beim Erkunden durch Sprachsynthese ausgegeben.

Force-Feedback-/  
Krafterückmelde-  
Systeme

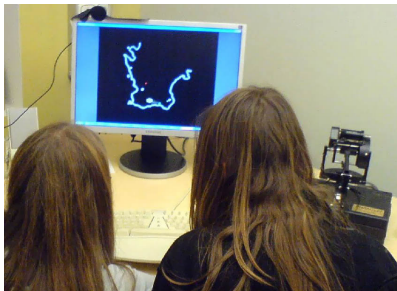
Die größten Probleme hatten Nutzende beim Finden von Kanten und beim Verbinden von Linien beziehungsweise Schließen von Formen. Durch entsprechende Mechanismen können

die eingegebenen Freihandformen in optimierte Linien, Vierecke oder Kreise umgewandelt werden. Aktiv anziehende Elemente können in Grafiken platziert werden, die den Leser zu wichtigen Elementen in der Grafik leiten können. *AHEAD* bietet nicht nur eine GUI und parallele Maussteuerung zur Kollaboration mit einer sehenden Person an, auch kann der Mausnutzer durch in den Krafrückmelder eingebrachte Zugkräfte diesen zu seiner Position dirigieren. Diese bevormundende Art der Interaktion zwischen beiden Kollaborierenden wurde jedoch von blinden Nutzenden als eher negativ bewertet.

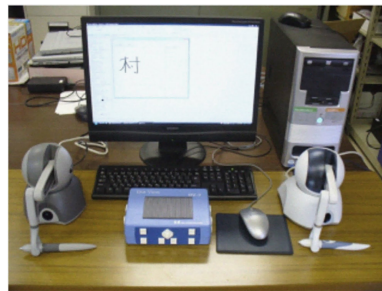
Die im Projekt *HIPP* entwickelte Erweiterung von *AHEAD* erlaubt es Farben in Grafiken einzubringen [Ras+14]. Diese werden dann als haptische Muster an den Krafrückmelder übertragen. Zudem wurden Programmfunktionen mit intuitiven Geräuschen als Rückmeldung ergänzt – Kopieren wird beispielsweise durch ein Kameraklicken symbolisiert.

**Anmerkung** In selbst durchgeführten Versuchen mit dem *HIPP* System hatten blinde Personen erhebliche Schwierigkeiten mit der vertikal im Raum stehenden virtuellen Präsentations- und Zeichenfläche. Diese ist zwar technisch sinnvoll und notwendig, aber weicht stark von der bekannten und erwarteten Metapher des horizontalen Zeichenblatts auf der Schreibtischfläche ab.

Das Programm *SALOME* nutzt ebenfalls ein 3D-Krafrückmeldesystem zum haptischen Erkunden von Liniengrafiken [Gou+07]. Linien werden dabei als anziehende, leicht erhabene Strukturen simuliert. Im Gegensatz zum *AHEAD* oder *HIPP* System liegt das virtuelle Zeichenblatt hier parallel zur Tischfläche. Neben dem reinen audio-taktilen Erkunden lassen sich auch Zeichnungen aus einfachen geometrischen Formen erzeugen. Diese können mittels Tastaturkommandos oder über den Krafrückmelder eingegebene Gesten erstellt werden. Grafikobjekte können im Nachgang textuell annotiert werden. Alle Elemente einer Zeichnung können sequenziell durchlaufen werden. Dabei wirkt das aktuelle Element stark anziehend auf das FF-Gerät, sodass der Leser aktiv über das Zeichenblatt geführt wird.



a) kollaboratives *AHEAD* bzw. *HIPP* System [RME07; Ras+14]



c) Kanji Lernsysteme von MURAI et al. [Mur+10]



e) Aufbau des *McSig* Lernsystems [Pli+11]



b) Zeichnung eines Hauses durch einen sehenden (links) und einen blinden (rechts) Nutzenden [RME07]

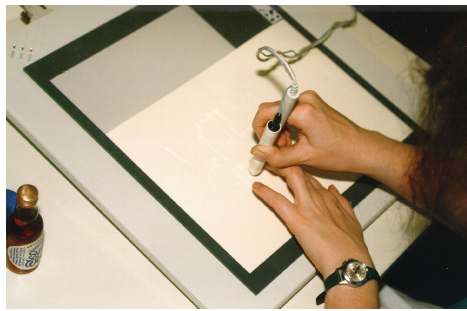


d) Kanji Zeichen-Kanal zur Erkundung mittels FF-Gerät [Mur+10]

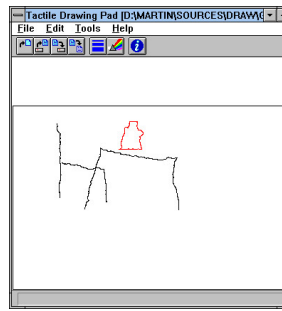


f) taktile Zeichenfolie mit taktilem Rahmen in Kombination mit Krafrückmelder des *McSig* Systems [Pli+11]

**Abbildung 4.19:** Zeichensysteme mit Krafrückmeldern



a) Thermostift mit Grafik-Stylus auf Schwellpapier



b) GUI-Vorschau der Digitalisierung

**Abbildung 4.20:**

*TDraw* System von KURZE  
[Kur98, S. 102–107]

MURAI et al. [Mur+10] verbinden gleich zwei Krafrückmeldeeinheiten (*Phantom Omni*) mit einem  $48 \times 32$  Pin großen taktilen Flächendisplay (siehe Abbildung 4.19 c). Das System soll sehbehinderte Menschen dabei unterstützen, die japanische Handschrift Kanji zu erlernen. Dabei wird einer der Krafrückmelder durch eine Lehrperson bedient, das andere FF-Gerät von einem sehbehinderten Schüler genutzt, um den Bewegungsablauf des Schreibens zu erfahren. Natürlich kann der Schüler die Kanji-Zeichen auch frei über das FF-Gerät in Form von haptisch erfahrbaren Korridoren erkunden und üben (siehe Abbildung 4.19 d). Die Zeichen können zum Üben des Schreibens ebenso selbst mittels Krafrückmelder handschriftlich eingegeben werden. Auf dem taktilen Display werden sowohl die Zeichen des Lehrers als auch des Schülers taktil ausgegeben. Eine zusätzliche Handschriftenerkennung bewertet abschließend automatisch, ob das eingegebene Zeichen dem zu lernenden Zeichen entspricht.

Auch das Projekt *McSig* setzte sich zum Ziel, blinden Menschen kollaborativ unter Anleitung eines Lehrenden das Schreiben von Handschriften, im Speziellen das Trainieren von Unterschriften, zu ermöglichen [Pli+11]. Dazu kombiniert das System einen Tablet-Computer mit Stifteingabe für die Lehrperson mit einem Krafrückmeldegerät (*Phantom Omni*) für den blinden Lernenden (siehe Abbildung 4.19 e). Der Lehrende kann über sein Tablet einen Handschriftenzug eingeben, der dann vom blinden Schüler in verschiedenen Unterstützungsgraden durch das Krafrückmeldesystem nachgeahmt werden soll. Dieser Grad reicht von gar keiner Abweichung vom vorgegebenen Pfad, über die virtuelle Beschränkung des Zeichenraums bis zur vollständigen Freiheit ohne führende Kräfte. Der Schüler schreibt dann den Schriftzug über den Krafrückmelder nach und das digitalisierte Bild der Zeichnung wird an die Lehrperson zur Kontrolle übertragen.

Es zeigte sich, dass es sich positiv auf das Ergebnis und die User Experience auswirkt, wenn dem Schüler gleichzeitig eine taktile Rückmeldung über den eigenen Schriftzug ermöglicht wird – entweder zur direkten oder retrospektiven Bewertung der Zeichnung. Dies wird mittels einer analogen taktilen Zeichenfolie, welche mit dem Interaktionsstylus des *Phantom* bearbeitet wird, realisiert (siehe Abbildung 4.19 f). Diese ermöglicht es auch, Hilfslinien oder Ähnliches zur weiteren Unterstützung anzubieten. Das System ist nicht auf das Trainieren von Handschriften beschränkt. Es können kollaborativ jegliche Art von Freihandzeichnungen vermittelt oder geteilt werden.

Wie beim *McSig* Projekt kann eine klassische analoge taktile Zeichenmethodik (vergleiche Abschnitt 3.3.1.2) als Erweiterung für eine computergestützte Komponente genutzt werden, um einfach und kostengünstig ein taktilen Feedback für Freihandzeichnungen bereitzustellen. KURZE erschuf mit seinem *TDraw* System ein computerunterstütztes Werkzeug zur Untersuchung der Bilderwelt von blinden Menschen [Kur96]. Sein Ansatz war nicht in erster Linie ein Zeichenprogramm für blinde Menschen zu entwickeln, sondern ein Messwerkzeug zu bauen, mit dem sich das mentale Bild von blinden Menschen erfassen lässt. KURZE verbindet ein Grafiktablet mit Digitalisierungsstift mit einem Heizstift (siehe Abbildung 4.20 a). Dieser

digitales Zeichnen  
mit analogem  
taktilen Feedback



**Abbildung 4.21:** TactiPad mit Hilfsmitteln von Thinkable (Bildquelle <https://thinkable.nl/tactipad/>)

hinterlässt auf einem auf dem Grafiktablett fixierten Schwellpapier taktile erfahrbare Strukturen, die gleichzeitig digitalisiert werden (siehe Abbildung 4.20 b). Dies ermöglicht es blinden Personen, das eigene Zwischenergebnis direkt zu kontrollieren.

Zur weitergehenden Unterstützung beim Erarbeiten einer digitalen Zeichnung bietet *TDDraw* die Möglichkeit zwischen Linienzügen und automatisch geschlossenen Polygonen zu wählen, die dann über das Grafiktablett eingegeben werden. Natürlich weichen bei dieser Art der Benutzungsschnittstelle die taktile Darstellung von der virtuell erstellten Variante ab. Das virtuelle Abbild kann mit Hilfe des Grafiktablets auditiv erkundet werden. Zur weiteren Anreicherung des digitalen Bildes bietet *TDDraw* die Möglichkeit, einzelne Objekte mit Schrift oder Tonaufnahmen zu annotieren. Zur Erleichterung der Bedienung propagiert KURZE sogar eine mögliche Sprachinteraktion, um den Zeichenvorgang komfortabler zu gestalten.

ROBINSON und NAGAR setzen ebenfalls auf die Digitalisierung von Stifteingaben allerdings auf einer taktilen Zeichenfolie (siehe Kapitel 3.2.1). In ihrem *Modified Tactile Graphic Tool* setzen sie wie KURZE ein klassisches Grafiktablett als Unterlage für die taktile Zeichenfolie und zur Digitalisierung der Nutzereingaben ein [RN10].

Das Prinzip einer direkten analogen taktilen Zeichenumgebung mit paralleler Digitalisierung der Eingabe wird vom kommerziellen Software-Produkt *TactileView* [oThi16a] von THINKABLE<sup>14</sup> zur Erstellung taktiler Grafiken in Kombination mit dem Blindenzeichenbrett *TactiPad* [oThi16b] aufgegriffen. Als Basis zum taktilen Zeichnen setzt das *TactiPad* ebenfalls auf eine taktile Zeichenfolie, die in einen Rahmenträger eingespannt wird, der weitere nützliche Hilfsmittel zum nicht-visuellen Konstruieren von Zeichnungen aufnehmen kann (siehe Abbildung 4.21 a). Darunter sind Lineale und Winkelmesser, aber auch Zirkel und Kreisschablonen sowie zusätzliche spezialisierte Auflagen zur Bereitstellung eines Hilfsrasters (siehe Abbildung 4.21 b) und Ähnlichem. Wird zum Zeichnen auf der taktilen Folie ein Digitalisierungsstift genutzt, welcher mit der *TactileView* Software gekoppelt ist, wird die aktuell konstruierte und taktil fühlbare Zeichnung digital als Grafikdatei aufgezeichnet.

Es lassen sich mit dem Stift auch Gesten zur Bedienung der Softwaremenüs oder zur Erzeugung und Platzierung von Formen auf der virtuellen Zeichenfläche ausführen. Diese Gesten erzeugen jedoch ebenfalls taktile Strukturen auf dem analogen Zeichenblatt. Die durch Gesten virtuell erstellten Formen sind hingegen nicht in ihrer tatsächlichen Gestalt taktil erfahrbar. Generell lässt sich das digitale Gegenstück erst nach dem Ausdrucken über einen taktilen Drucker oder Schwellpapier auf Fehler und generelle Eignung prüfen. Durch die gleichzeitige Visualisierung in der GUI der *TactileView* Software kann jedoch eine sehende Person Rückmeldung geben und aktiv in die Zeichnung eingreifen. Im Gegenzug kann mit

<sup>14</sup> Thinkable Produkte – Url: <https://thinkable.nl/products/> – zuletzt besucht Juni 2019

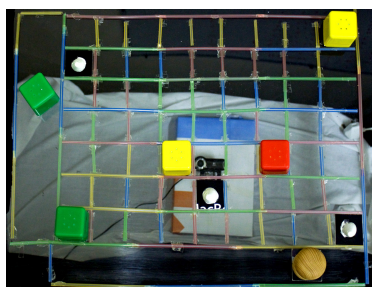


einem speziellen Plotterarm die digitale Zeichnung aus der Software auch auf die analoge Zeichenfolie übertragen werden (siehe Abbildung 4.21 c).

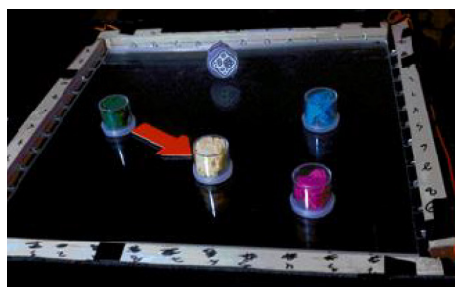
Analoge haptische Strukturen zur Interaktion mit computergestützten Systemen können auch in Form von realen Objekten umgesetzt werden. Dazu wird diesen Objekten eine Funktion oder ein virtuelles Gegenstück innerhalb einer Anwendung zugewiesen. Man nennt diese Objekte dann *Tangibles*. MCGOOKIN, ROBERTSON und BREWSTER untersuchten mit dem *Tangible Graph Builder (TGB)* [MRB10] wie sich reale Objekte zur Darstellung und Interaktion auf Graphen und einfachen Diagrammen realisieren lassen. 4 × 4 cm große Objekte (Würfel, Kegel, etc.) werden auf der Unterseite mit visuellen Markern versehen und mit einem virtuellen Punkt innerhalb eines 9 × 7 Felder großen Tabellenlayouts synchronisiert. Dieses Tabellenraster lässt sich auch taktil auf die Interaktionsfläche – eine Tischfläche aus Glas, welche von unten durch eine Kamera erfasst wird – abbilden (siehe Abbildung 4.22 a). Ein spezielles Tangle kann in einer dafür vorgesehenen Bahn am unteren Rand des Tabellenrasters hin und her geschoben werden. Damit lässt sich das eingegebene Diagramm mittels Sonifikation erkunden.

Ein Framework zur Erstellung interaktiver Anwendungen auf Tabetops unter Verwendung von Tangibles – nicht nur für sehbehinderte Menschen – stellt *TIMM (Trackable Interactive Multimodal Manipulatives)* zur Verfügung [MPM12] (siehe Abbildung 4.22 b). Eingaben können mittels Tastaturen (Standard, Braille, Virtuell), Single- oder Multi-Touch Gesten sowie physischen Objekten (*TIMMs*) getätigt werden. Das Framework bietet dazu die Möglichkeit, Tangibles an visuellen Markern auf der Unterseite zu erkennen und diese dann in Relation zu ihrem angedachten Standort zu setzen. Auditive Hinweise (Richtungs-, Entfernungs- und Positionierungsangaben) sollen den Nutzenden schrittweise anleiten, die Tangibles an der richtigen Position auf der Interaktionsfläche zu platzieren. So lassen sich die physischen Aufbauten auf dem Tabletop zusammenstellen, wiederherstellen oder durch eine Programmaktion beziehungsweise den Nutzenden verändern.

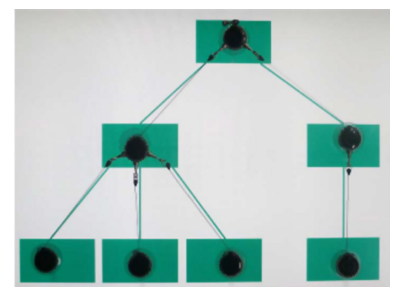
Zur Interaktion von blinden und sehbehinderten Menschen auf Karten oder Graphenstrukturen nutzt das *Tangible Reels Projekt* [Duc+16] Tangibles, die sich mit Saugnäpfen auf einem Tabletop-System platzieren und mit flexiblen Schnüren verbinden lassen (siehe Abbildung 4.22 c). Die Platzierung der Tangibles auf der visuellen Kartendarstellung wird durch *Explore-by-Touch* oder auditive Anleitung – ähnlich wie bei *TIMM* – unterstützt. Nutzende platzieren die Tangibles auf Straßen, Kreuzungen oder POIs, die sie vorher gesucht haben. Anschließend verbinden sie diese mit einem anderen Tangle (*Reel*) durch eine Schnur, die sich aus den *Reels* abwickeln lässt. Soll eine vorherige Sitzung wiederhergestellt werden, so wird die blinde Person mittels Sprachanweisungen schrittweise an die richtige Position für das jeweilige Tangle auf dem Tabletop geleitet. Die Tangibles selbst und die zwischen ihnen gespannten Schnüre können auf Berührungen reagieren und beispielsweise Informationen in Form von



a) Diagrammaufbau mit dem TGP mittels Tangibles und taktilen Referenzraster [MRB10]



b) Aufbau eines Diagramms mit TIMMs [MPM12]



c) Hierarchisches Baumdiagramm aus *Tangible Reels* auf einem Tabletop [Duc+16]

**Abbildung 4.22:** Interaktive Tangle-Systeme für sehbehinderte Nutzende

Sprachausgabe liefern. Es lassen sich nur gerade Verbindungen/Linien zwischen Punkten zeichnen. Die Anzahl an Verbindungen zwischen Punkten ist durch den Aufbau der *Reels* ebenfalls limitiert und das taktile Ergebnis kann nicht einfach exportiert werden.

Zusammen-  
fassung / Überblick

Die Bandbreite der digital unterstützten Zeichensysteme ist groß. Sie unterscheiden sich vor allem in der adressierten Domäne sowie den Modalitäten zur Ein- und Ausgabe. Tabelle 4.1 gibt einen strukturierten Überblick über die beschriebenen Grafik-Systeme nach Ein- und Ausgabemodalitäten sowie ihrer Anwendungsdomäne.

**Tabelle 4.1:** Überblick über die Ein- und Ausgabemethoden verschiedener Zeichensysteme für blinde Menschen

Jahr	Quelle(n)	Name	Domäne	erlaubt freies Zeichnen	Eingabe					visuell	Ausgabe					Vibration	
					Maus	Touch	spezielles Gerät	Stylus	Tangibles		auditiv	haptisch					
1986	[SF86]	RETAKO	Geometrie + Analysis	●												●	●
1988	[Web89a]	KOFI	frei	●						●				●			●
1988	[Par94]	NOMAD CAD	Karten + geom. Formen	●												●	
1996	[Kur96]	TDraw	frei	●	●					●				●		●	
1998	[BE98]	Kevin	Datenflussdiagramme														
1999+	[KL99; KL00]	IC2D	Strichzeichnungen	●	●					●				●			
2002	[Gar02]	AGC	Funktionsgraphen									●					
2002	[KW02; KW04]	MIMIZU	frei	●						?		●					●
2003	[YKB03]	k.A.	Diagramme														
2004	[SIS04]	k.A.	9x9 Punktmuster				●			?		●				●	
2006	[Alb06]	Math Class	Mathematik														●
2006	[NF06]	k.A.	Mathematik				●							●			●
2006	[Wat+06]	k.A.	frei	●													●
2006	[MB06]	MultiVis + Graph Builder	Balken- + Liniendiagr.		?		●			●		●	●	?			
2006	[Cal+06]	PLUMB	Graphenstrukturen									●	●	●			
2007	[RME07]	AHEAD	Strichzeichnungen	●		●	●			●		●					
2007	[Gou+07]	SALOME	Geometrie	?													
2008	[Fuj+08]	BPLOT2	Strichzeichnungen	●						●				●			
2008	[BMS08]	L-MATH	Funktionsgraphen														
2008+	[Pli+11]	McSig 2.0	Unterschriften	●	●		●			●		●				●	
2008	[MBS08]	k.A.	Graphenstrukturen														
2009	[oGG09]	BlindPaint	farb. Strichzeichnungen	●	●					●				●		○	
2010	[HP10b]	k.A.	frei	●													●
2010	[MC10]	k.A.	ASCII / Braille	●													
2010	[Tar11, S. 138–145]	HBGraphicsExchange	frei + farbig	●													
2010+	[oThi16a; oThi16b]	TactileView + TactiPad	Strichzeichnungen	●	●		●			●				●		○	
2010	[MRB10]	Tangible Graph Builder	Graphen + Diagramme														●
2010	[Fuj+10]	Bplot 3D	3D Projektionen							●				●			
2010	[Mur+10]	k.A.	Kanji Handschrift	●													
2010	[RN10]	mod. Tactile Graphic Tool	Strichzeichnungen	●			●			●						●	
2012	[MPM12]	TIMM	Graphen + Diagramme														
2013	[Bal+13]	GSK	Graphenstrukturen		●					●							
2013+	[Pö14+16]	k.A.	Mind-Maps													○	
2014	[Fuj+14]	BPLOT3	Strichzeichnungen	●	●		●			●				●			
2014	[MGB14]	Braille mapping system	Geometrie	●													
2014	[Ras+14]	HIPP	frei	●	●		●							●			
2014	[Bau14]	HyperBrailleGeo	Mathematik														●
2015	[Buz+15a]	Play with geometry	Geometrie	●						●				●			●
2015	[Gru15]	Draw and Drag	Geometrie														
2015	[SCS16]	DiGVis	gerichtete Graphen		●		●			●		●					●
2015	[TMM15]	k.A.	Diagramme														●
2015+	[oTou16; oTou08]	TTT + Authoring Tool	frei	●	●		●			●						●	
2016	[GF16]	AudioDraw	Geometrie														●
2016	[Swa+16]	Linespace	Strichzeichnungen	●			●			●				●			●
2016	[Duc+16]	Tangible Reels	Karten + Graphenstr.													●	
2018-	[Fer15; oFO18]	SETUP 09	Strichzeichnungen	●						●				●			
2018	[Fuj+18]	BPLOT4	frei + Funktionsgraphen	●													
2018	[oFeel18a; oFeel18b]	Feelif Draw + Geom. Funct.	farb. Strichzeichn. + Mathe	●						●		●		Strichzeichn.		●	●
2019	[oGeo19]	GeoGebra Mathe Apps	Geometrie + Analysis														
2019	[oDes19a]	Desmos Graphing Calculator	Geometrie + Analysis		●					●		●		●			

● zutreffend

? es gibt Hinweise, dass dies zutrifft, aber keine explizite Aussage

○ propagiert aber nicht umgesetzt, nur als Konzept vorgesehen oder mit Erweiterung möglich

### 4.3 Anforderungsanalyse für ein Zeichenprogramm für blinde Benutzer

Nur wenige der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Systeme zur rechnerunterstützten Erzeugung und Manipulation von grafischen Daten sind nach jetzigem Kenntnisstand weit verbreitet. Viele sind heute wegen fehlender Weiterentwicklung nicht mehr funktionsfähig oder sind nicht über den Status einer prototypischen Umsetzung herausgewachsen. Dennoch können die berichteten Erfahrungen aus dem praktischen Umgang oder der wissenschaftlichen Evaluation dieser Systeme wertvolle Hinweise zur frühzeitigen Identifizierung von Anforderungen an ein Zeichensystem für blinde und sehbehinderte Menschen liefern. Nutzeranforderungen können in Form von Anforderungsanalysen [HP10b; TMM15], Zustimmung oder Kritik an System-Funktionen oder in Form von Erweiterungs- beziehungsweise Verbesserungsvorschlägen angegeben sein.

basiert auf



[\*BW17]

Als abstrakte aber standardisierte Basis für eine Anforderungsanalyse kann neben speziellen Handlungsempfehlungen für barrierefreie elektronische Systeme [oUS 00] auch die ISO Richtlinie 9241 (*Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*), im Speziellen Teil 110 (*Grundsätze der Dialoggestaltung*) [DIN08], herangezogen werden, um Kriterien der Gebrauchstauglichkeit von interaktiven Systemen aus Nutzersicht zu berücksichtigen. Die ISO Richtlinie soll in erster Linie Entwickler dabei unterstützen, gängige Problemen zu vermeiden, die zu Nutzungsproblemen führen können. Dazu zählen unter anderem das Vermeiden unnötiger (Arbeits-)Schritte und Navigationsprobleme, die Sensibilisierung für ungeeignete Systemrückmeldungen oder Informationsdarstellungen sowie ein angemessener Umgang mit Fehlern. Grundsätzlich werden sieben Grundsätze der Dialoggestaltung definiert und mit detaillierten Bewertungskriterien und Hinweisen ausgeführt:

DIN ISO 9241-110

**Aufgabenangemessenheit (4.1):** Ein System soll den Nutzenden dabei unterstützen, seine Aufgabe zu erfüllen. Dabei soll es insbesondere die Charakteristika der Aufgabe in Betracht ziehen.

**Selbstbeschreibungsfähigkeit (4.2):** Ein Dialog soll dem Nutzenden jederzeit klar verdeutlichen, wo er sich im Dialog(-Fortschritt) befindet, welche Handlungen möglich oder notwendig sind und was diese für Auswirkungen haben.

**Erwartungskonformität (4.3):** Ein Dialog soll aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbare Nutzerbelange und Konventionen aufgreifen und erfüllen.

**Lernförderlichkeit (4.4):** Dialoge sollen Nutzende anleiten und beim Erlernen des Systems unterstützen.

**Steuerbarkeit (4.5):** Der Ablauf einer Dialoghandlung soll durch Nutzende in Richtung und Geschwindigkeit beeinflussbar sein.

**Fehlertoleranz (4.6):** Ein System soll seine Nutzenden dabei unterstützen, Fehler mit minimalem Aufwand zu vermeiden, zu erkennen und zu beheben.

**Individualisierbarkeit (4.7):** Systeme sollen es ermöglichen, die Interaktion und die Darstellung an individuelle Fähigkeiten oder Bedürfnisse anpassen zu können.

Ergänzt werden die Grundsätze der ISO 9241 durch vier weitere spezielle Gestaltungsgrundsätze für Multimedia-Anwendungen aus der DIN ISO 14915 (*Softwareergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen*) [DIN03]. Dabei

DIN ISO 14915-1

fokussiert sich die ISO 14915-1 auf den kommunikativen Charakter von multimedialen Systemen – also die Übertragung und Bearbeitung von Informationen. Generell sollen (interaktive) Systeme Nutzende in der Erfüllung ihrer Aufgaben unterstützen und sie nicht überfordern.

**Eignung für das Kommunikationsziel (5.2.4):** Multimediale Inhalte können komplex, aber auch flüchtig in ihrer Darstellung sein. Darum soll bei der Gestaltung und Präsentation von Informationen auf charakteristische Eigenschaften (Erkennbarkeit, Unterscheidbarkeit, Klarheit, Lesbarkeit, Konsistenz, Kompaktheit und Verständlichkeit) jedes einzelnen bereitgestellten Mediums geachtet werden.

**Eignung für Wahrnehmung und Verständnis (5.2.5):** Eine Überforderung von Nutzenden durch zu viele Informationen oder zu viele Aufgaben soll vermieden werden.

**Eignung für Exploration (5.2.6):** Wenn möglich, soll es ermöglicht werden, die Inhalte frei zu erkunden.

**Eignung für Benutzungsmotivation (5.2.7):** Anwendungen sollen ihre Nutzenden zur Interaktion motivieren und die Aufmerksamkeit steuern.

### 4.3.1 Anforderungen an ein digitales Zeichensystem für blinde Benutzer

Aus den in Abschnitt 4.2 beschriebenen Systemen wurden Anforderungen aus Nutzer- und Entwickleranmerkungen extrahiert und zusammengefasst. Sich widersprechende Aussagen aus mehreren Systemen wurden trotzdem dieser Auflistung hinzugefügt, um einen möglichst umfassenden Katalog zu erhalten. Zu detaillierte oder auf einen einzelnen Nutzungskontext bezogene Hinweise wurden entweder nicht mit einbezogen oder es wurde versucht, diese allgemeiner zu fassen. Die Auswahl wurde a priori mit Kriterien aus der ISO 9241-110 [DIN08] und ISO 14915-1 [DIN03] erweitert und vervollständigt. Es ergibt sich die folgende Liste von 35 Anforderungen, welche thematisch in vier Gruppen zusammengefasst sind:

#### Anmerkung

*Diese Liste erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Für domänenspezifische Systeme kann die Auflistung sowohl zu weitreichend als auch nicht detailliert genug sein.*

*Die Sortierung der Einträge stellt keine wertende Reihenfolge dar.*

*Nicht alle der in der ISO 9241-110 [DIN08] oder ISO 14915-1 [DIN03] aufgeführten Grundsätze wurden berücksichtigt, da sie für diese allgemeine Auflistung entweder zu detailliert ausgeführt sind oder nicht passend erscheinen. Eine geeignete Bewertung zur Anwendbarkeit der einzelnen Grundsätze ist ebenso Teil der Handlungsaufforderung der Richtlinien.*

#### 1. Allgemein

- (a) **Selbständiges Erstellen** von Zeichnungen ohne zusätzliche Hilfsperson [Alb06; GF16]

*Blinde und sehbehinderte Menschen sollen möglichst alle Funktionen und Aufgaben, die zum Erstellen von grafischen Inhalten notwendig sind, selbständig und mit Hilfe des Systems bzw. dem Einsatz einer assistiven Technologie ausführen und lösen können.*

- (b) **Kollaboration mit sehenden** Nutzenden ermöglichen [Bal+13; Fuj+14; Pli+11; Ras+14]

*Grafische Aufgaben dienen oft der Kommunikation oder dem besseren Verständnis. Zudem wünschen sich unerfahrene sehbehinderte Menschen eine weitere Person, die bei Schwierigkeiten der Gestaltung eingreifen kann. Die Interaktion und Kollaboration mit anderen sollte darum Teil der Anwendung sein, beispielsweise durch eine Visualisierung der Ausgaben auf einem Bildschirm.*

- (c) Die Benutzungsschnittstelle soll **intuitiv und einfach** zu erlernen sein [BE98; Cal+06; Kur96],[DIN08, (4.4.2, 4.4.5)] – z.B. durch Wiederverwendung bekannter Interaktionsmechanismen und Werkzeuge [DIN08, (4.3, 4.5.7)] oder einfache Tastenkommandos [HP10b]

*Intuitive Systeme sind leichter zu erlernen (steilere Lernkurve), mildern damit auch Berührungssängste und Einstiegshürden ab und senken die Fehlerrate durch Fehlbedienung. Dies kann beispielsweise durch das Imitieren bekannter Konzepte, das Aufgreifen von Metaphern oder das sinnvolle Verknüpfen von Funktionen und zugeordnetem Kontrollelement (vergleiche Kriterium 4g) erreicht werden.*

- (d) **Multimodalen / redundanten Zugang** zu Funktionen anbieten [HP10b; SCS16; Swa+16],[DIN08, (4.3.7, 4.7.2, 4.7.6)],[DIN03, (5.2.6.5)] – z.B. durch Installation von Menüs zur Unterstützung unerfahrener Nutzender [DIN08, (4.4, 4.6.7, 4.9.6)]

*Stehen mehrere Möglichkeiten zum Erreichen einer Funktion zur Verfügung, können Nutzende entscheiden, welcher Weg geeigneter oder überhaupt erreichbar ist.*

- (e) **Unmittelbares, kontinuierliches Feedback** [Cal+06; Kur96; Pli+11; TMM15],[DIN08, (4.4.3, 4.5.2, 4.5.6)],[DIN03, (5.2.5.1)]

*Dies ermöglicht die unmittelbare Erfolgskontrolle und hilft Fehlern vorzubeugen oder diese rechtzeitig zu korrigieren.*

- (f) Möglichkeiten zur **Individualisierung** von Ein- und Ausgabemodalitäten (z. B. Sprache / Tastenkommandos etc. ) [HP10b; YKB03],[DIN08, (4.9)]

*Probleme in der Präsentation beziehungsweise Ausgabe (z. B. Sprachprobleme oder zusätzliche Beeinträchtigungen der Wahrnehmung) können im schlechtesten Fall die Nutzung des Systems ganz verhindern. Individuelle Anpassungen können hier Abhilfe schaffen. Bedienprobleme können beispielsweise durch den Wechsel von links- auf rechtshändige Bedienung überwunden werden. Temporäre oder dauerhafte körperliche Beeinträchtigungen können ebenso Berücksichtigung finden. Auch lässt sich durch die individuelle Anpassung von Tastenkommandos die Effizienz steigern, indem häufig genutzten Funktionen eines Anwendungskontextes kürzere oder ergonomischere Kommandos zugewiesen werden. Zudem kann eine sinnvolle Verknüpfung von Tastenkommandos mit der zugehörigen Funktion lernförderlich sein. Diese Verknüpfung ist jedoch oft sprachabhängig.*

- (g) Kompatibilität mit anderen **assistiven Technologien** (z.B. Screenreader) [Bal+13; Pöl+16; YKB03]

*Es ist davon auszugehen, dass blinde und sehbehinderte Menschen eine assistive Technologie parallel zum Zeichensystem betreiben, um das Betriebssystem und andere Anwendungen bedienen zu können. Die Zeichenanwendung soll assistive Technologien nicht negativ beeinflussen, zum Beispiel durch das häufige Wechseln des Anwendungsfokus, sodass die assistive Technologie nicht abgeschaltet werden muss, um das Zeichensystem zu bedienen. Bestenfalls tritt die Anwendung in direkte Wechselwirkung oder lässt sich sogar mit Hilfe der assistiven Technologie bedienen, was auch die Anforderung 1c stützt.*

- (h) **Hilfe** oder Anleitung zur Selbsthilfe bereitstellen [Fuj+14],[DIN08, (4.6.2–3)]

*Eine Anleitung oder Hilfestellungen zur Selbsthilfe verbessert die Lernförderlichkeit. Dies kann auch durch ein zusätzliches Lernprogramm erreicht werden [SF86].*

## 2. Interaktion und Eingabe

- (a) **Hilfestellungen zum Zeichnen** von Objekten [Fuj+08; Fuj+10; Fuj+14; HP10b; KL00; RME07; TMM15; Wat+06],[DIN08, (4.3.4, 4.5.6, 4.8.1, 4.8.4, 4.9.7)]

*Unterstützung durch geeignete Mechanismen, wie Glättung oder Vereinfachung, Hilfen zur Erstellung genauer und akkurater Formen sowie Eingabe präziser Dimensionen.*

- (b) Vordefinierte grafische Primitive oder **Standardformen** mit geeigneten Startwerten bereitstellen [Fuj+08; Fuj+14; GF16; Gru15; HP10b; KL00; RME07; Swa+16],[DIN08, (4.3.4)]

*Die Bereitstellung von für die Aufgabe oder die Domäne geeigneten vordefinierten Formen, aus denen sich dann eine Gesamtkomposition erstellen lässt, bietet eine große Unterstützung. Die Auswahl und Platzierung der Objekte sollte im Sinne der Aufgabenangemessenheit erfolgen. Objekte sollten in geeigneter Weise erwartungskonform und wahrnehmbar platziert werden.*

- (c) **Orientierungshilfen** bereitstellen [Alb06; Cal+06; Fer15; GF16; HP10b; KL99; KL00; Pli+11],[DIN03, (5.2.6.3)]

*Nutzende sollen Objekte und Positionen in Relation zueinander oder zum Gesamtdokument setzen können; beispielsweise durch den Einsatz eines Referenzrasters, Hilfsrahmens oder von Hilfslinien. Des Weiteren sollten geeignete Navigationsmechanismen angeboten werden [Bal+13],[DIN03, (5.2.6.4)].*

- (d) **Tastatursteuerung** soll möglich sein [Fuj+08; Fuj+14; GF16; HP10b; TMM15; oUS00]

*Die Steuerung mittels der Standard-(QWERTZ-)Tastatur ist robust und als Eingabemodalität unter blinden und sehbehinderten Menschen weit verbreitet und akzeptiert.*

- (e) **Schrittweise Veränderung** von Eigenschaften bei geeigneter Wahl der Schrittgrößen [DIN08, (4.5.2)]

*Veränderungen von Größe, Position, Orientierung aber auch Farbe und Ähnlichem (vergleiche Kriterium 3b) sollen möglich sein. Dabei sollen die Änderungen in geeigneter Weise (z. B. effizient und wahrnehmbar) erfolgen.*

- (f) **Schutz kritischer Funktionen** – z.B. entfernen oder alles löschen [DIN08, (4.8.4, 4.8.8, 4.8.10)]

*Im Sinne der Fehlerrobustheit sollten Funktionen, die beispielsweise zum vollständigen Verlust der Arbeitsleistung führen könnten, durch besondere Mechanismen, wie einen weiteren zwischengeschalteten (Abfrage-)Dialog zur Bestätigung oder andere robuste Maßnahmen zur Fehlerkorrektur (Kriterium 3g) abgesichert werden.*

- (g) **Beidhändiges Arbeiten** soll unterstützt werden [Buz+15a; GF16; HP10b; SCS16; TMM15]

*Die Steuerung von Eingaben mit einer Hand bei gleichzeitiger Kontrolle mit der anderen Hand soll möglich sein.*

### 3. Funktionen und Eigenschaften

- (a) **Freihandzeichnungen** ermöglichen [GF16; HP10b; KW02; RN10; Swa+16]

*Zur Erstellung von komplexen Freiformen, die sich nur schwer aus grafischen Primitiven erzeugen lassen oder für die keine Standardform (siehe Kriterium 2b) bereitgestellt wird, erscheint das freie Zeichnen mittels geeigneter Eingabemodalität essentiell zur Erfüllung spezieller Aufgaben.*

- (b) **Editieren** von Objekten [Gru15; GF16; HP10b; KW02; Kur96; RME07; TMM15; Wat+06] – Bewegen, Verändern der Größe, Transformieren, Anpassung von grafischen Eigenschaften (u.a. Farbe [Tar11] oder Texturen [HP10b])

*Erstellte bzw. platzierte grafische Objekte sollen sich im Nachgang verändern lassen. Dies unterstützt zudem die Fehlertoleranz.*

- (c) **Feingranulare Änderungen** an Objekten [Gru15; HP10b; Kur96; KW02; RME07; Wat+06]

*Eigenschaften von Objekten sollen auch in sehr kleinen Schritten angepasst werden können, um präzise grafische Darstellungen zu ermöglichen.*

- (d) Elemente **löschen** [HP10b; Kur96; KW02; RME07; TMM15; Wat+06],[DIN08, (4.5.4)]

*Falsche oder unerwünschte Elemente sollen aus der Grafik gelöscht werden können. Dies dient in erster Linie der Fehlerrobustheit.*

- (e) Unterstützung beim **Verbinden von Linien** [KL00]

*Nach KAMEL und LANDAY [KL00] stellt das Verbinden von Linien mit anderen Linien oder Objekten eine der häufigsten Aufgaben beim Erstellen von Grafiken dar und sollte darum besonders unterstützt werden, um präzise Linienzüge und Formschlüssigkeit herzustellen.*

- (f) Elementen eine **Beschriftung** oder Annotation zuweisen [Fuj+18; GF16; HP10b; Kur96]

*Textuelle Inhalte sollen die Lesbarkeit und das Verständnis der Grafik verbessern. Dabei können textuelle Inhalte direkt – durch offensichtliches Platzieren als Textelemente in der Grafik – oder indirekt durch Annotation von Objekten für den Einsatz als audio-taktile Grafik eingefügt werden. Ebenso sind Töne oder Sprachaufzeichnungen möglich.*

- (g) Methoden zur **Fehlerkorrektur** bereitstellen – Rückgängig / Wiederholen [GF16; HP10b; Wat+06],[DIN08, (4.6.6, 4.8.4)]

*Verlässliche Methoden zur Fehlerkorrektur stärken das Vertrauen in die Anwendung und können Berührungsängste abschwächen.*

- (h) **Kopieren und Einfügen** [RME07; Swa+16]

*Das Duplizieren von Elementen kann die Effizienz und Fehlerrobustheit erhöhen.*

- (i) **Zooming** – Vergrößern / Verkleinern der Darstellung [DIN03; DIN08, (4.9.2, 4.9.8)]

*Zooming dient dem Wechsel zwischen dem Überblick über die Gesamtkomposition und einzelner Details einer Grafik, beispielsweise um diese zu erkunden oder zu bearbeiten (vergleiche Kriterium 3c). Als Konsequenz hieraus folgt, dass ebenso Möglichkeiten, wie beispielsweise Panning, zur Exploration von (über-)großen Bildern bereitgestellt werden müssen [DIN03, (5.2.6.2)].*

- (j) Einfache und schnelle **Speichermöglichkeit** [HP10b]

*Das einfache Speichern von Zwischen- oder Exportständen (z. B. mittels einfacher Tastenkombination) fördert die Fehlertoleranz und sichert somit gegen den Gesamtverlust der Arbeitsleistung ab. Ein automatisierter Speichervorgang von Zwischenständen ist ebenso denkbar.*

- (k) Export und Verteilung des fertigen **taktilen** Bildes [Swa+16; Tar11; oThi16a],[DIN08, (4.3.3, 4.3.7)],[DIN03, (5.2.4)]

*Der Export des taktilen Ergebnisses kann entweder in Form eines produzierten klassischen taktilen Mediums (siehe Kapitel 3.2.1) oder einer digitalen Master-Datei erfolgen, die dann von anderen (mit dem gleichen oder einem anderen System) geladen und taktil erkundet werden kann.*

- (l) Export und Verteilung des fertigen **visuellen** Bildes [Fuj+18; Tar11; oThi16a; TMM15],[DIN08, (4.3.3, 4.3.7)],[DIN03, (5.2.4)]

*Der Export und die Verteilung der visuellen Darstellung kann in Form eines Druckes oder als digitale (Bild-)Datei erfolgen.*

#### 4. Präsentation und Ausgabe

- (a) **Multimedialer Zugang** zur Zeichnung (visuell, taktil, textuell, verbal, auditiv, ...) [Duc+16; Fuj+08; Fuj+14; Swa+16; YKB03],[DIN08, (4.3.3, 4.3.7, 4.7.6, 4.9.2)],[DIN03, (5.2.4, 5.2.5.5, 5.2.6.9)]

*Der Zugang zu Informationen mittels mehrerer sich ergänzender oder redundanter Medien ermöglicht es, die Informationsaufnahme an die Situation, den Nutzungskontext (z.B. ein Klassenzimmer [Alb06]) oder spezielle Nutzerbedürfnisse anzupassen.*

- (b) **Adäquater taktiler Zugang** zu den Zeichenfunktionen [GF16; Kur96; Pli+11; SF86; Swa+16; TMM15; Wat+06],[DIN08, (4.3.3, 4.3.7, 4.4.3)],[DIN03, (5.2.4, 5.2.5.1)]

*Eine taktile Ausgabe scheint der Aufgabe der Erstellung und Darstellung von grafischen Inhalten angemessen [DIN08] und nach KURZE [Kur96] auch essentiell. Dabei ist zu beachten, dass die taktile Ausgabeform auch für die Art der grafischen Inhalte geeignet ist. Komplexe detaillierte Strukturen lassen sich beispielsweise mittels einfacher Vibration nur unzureichend darstellen [SER05].*

- (c) Grafische Benutzungsoberfläche (**GUI**) bereitstellen [Bal+13; Fuj+08; Fuj+14]

*Ein grafisches Interface zur Anwendung unterstützt in erster Linie die Kollaboration und Kommunikation mit sehenden Menschen, und somit das Kriterium 1b. Eine zugängliche GUI kann zudem unerfahrenen sehbehinderten Menschen Hilfestellungen geben, da sie hier auf die Bedienung mit ihrer assistiven Technologie zurückgreifen können – vorausgesetzt das Kriterium 1g ist erfüllt.*

- (d) Einfacher **Zugang zum Status** jedes grafischen Objektes – z.B. Identifizieren von Winkel, Ausdehnung oder anderen verändernden Eigenschaften (Krümmungen etc.) [GF16; KL00; MRB10],[DIN08, (4.3.1, 4.3.5)]

*Das Wissen über den aktuellen Status (selektiert, bearbeitbar, etc.) und die Eigenschaften eines grafischen Objektes ermöglichen dem Nutzenden nicht nur die Erfolgskontrolle, sondern ermächtigen ihn auch dazu, weitere (Bearbeitungs-)Schritte zum Erreichen seines Ziels zu planen.*



- (e) Filterung / **Anpassung der Präsentation** / Darstellung – Reduzierung der Komplexität oder Unterstützung beim Suchen [Bal+13; KL00; Swa+16; YKB03],[DIN08, (4.7.5, 4.9.1, 4.9.2)],[DIN03, (5.2.4, 5.2.5.2)]

*Die (Über-)Fülle an Informationen in grafischen Darstellungen stellt ein großes Problem dar (siehe Abschnitt 3.4 – Probleme in taktilen Grafiken). Die Reduzierung der Komplexität durch Filterung nach Eigenschaften (Farbe, Status, etc. ) oder durch optischen oder semantischen Zoom zur Bereitstellung von Überblicks- oder Detailansichten soll den Nutzenden dabei unterstützen, Überforderung durch die dargestellte Datenmenge zu überwinden und für seine Aufgabe relevante Inhalte oder Objekte zu finden. Durch Anpassung der Darstellung lassen sich eventuell auch Einschränkungen in der Wahrnehmung des Nutzenden oder Unzulänglichkeiten von Standardeinstellungen eines Systems in der Darstellung kompensieren.*

- (f) **Keine erkennbare Rasterung** in finaler taktiler Ausgabe [Kur96; Swa+16],[DIN03, (5.2.4)]

*Im finalen taktilen Bild soll keine Rasterung den beabsichtigten taktilen Eindruck des Ergebnisses stören, beeinflussen oder gar verändern.*

- (g) Schaltflächen und Tactons<sup>15</sup> sollen ihre **Funktion widerspiegeln** [BE98],[DIN08, (4.4.5)]

*Dies dient der Lernförderlichkeit und der Selbstbeschreibungsfähigkeit, was wiederum das Kriterium 1c unterstützt.*

- (h) **Gruppieren** gleichartiger Funktionen [BE98],[DIN03, (5.2.6.4)]

*Funktionsgruppen sollten Programmfunktionen, die semantisch in Zusammenhang stehen, bündeln. Dies steigert die Lernförderlichkeit. In Menüs sollten Funktionen in passenden Untermenüs zusammengefasst werden. Funktionen, die an Hardwaretasten von Eingabegeräten gekoppelt sind, sollten in sinnvoller Art und Weise in räumlicher Nähe zueinander platziert werden.*

### 4.3.2 Gegenüberstellung von aktuellen Systemen und Anforderungen

Nach der Identifizierung von notwendigen und wünschenswerten Eigenschaften und Möglichkeiten von rechnergestützten Zeichenwerkzeugen für sehbehinderte Nutzende kann nun die Gegenprobe erfolgen, welche Systeme welche Anforderungen bereits vollständig oder teilweise erfüllen. Tabelle 4.2 gibt einen Überblick über die explizit erfüllten und nicht erfüllten Kriterien aus Abschnitt 4.3.1.

#### Anmerkung

*Die in der Tabelle 4.2 abgetragene Analyse basiert auf den zu den Systemen existierenden Veröffentlichungen, Handbüchern, Demonstrationen sowie persönlichen Erfahrungen. Ob eine Anforderung bzw. Eigenschaft erfüllt wird oder nicht, ist eine persönliche Einschätzung des Autors. Andere Prüfer (mit mehr Wissen zu den Systemen) könnten zu abweichenden Bewertungen kommen.*

<sup>15</sup> taktile Icons (siehe Glossar)

114 Kapitel 4. Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen

114 Kapitel 4. Digitale Interaktion auf Grafiken für blinde Menschen

Dieser Überblick lässt den Schluss zu, dass keines der untersuchten Grafiksysteme den vollen Anforderungsumfang erfüllt. Die reine Aufsummierung der erfüllten beziehungsweise nicht erfüllten Kriterien bietet jedoch nur begrenzte Aussagekraft über die Eignung eines Systems, das beispielsweise einer bestimmten Domäne zugeordnet ist. Auch die Vielzahl an Unbekannten in dieser Übersicht verfälscht sicherlich den Eindruck. Die Aussage, ob und wenn ja mit wie vielen sehbehinderten Menschen ein System evaluiert wurde, lässt zumindest in einem begrenzten Rahmen eine Bewertung der Güte der jeweils extrahierten Anforderungen zu. Auswertung

Grafiksysteme, wie *KOFI* [Web89a] (30 (teilweise) erfüllt / 4 nicht erfüllt / 1 unbekannt), *HBGraphicsExchange* [Tar11, S. 138–145] (30 (teilweise) erfüllt / 5 nicht erfüllt), *TactileView* + *TactiPad* [oThi16a; oThi16b] (29 (teilweise) erfüllt / 6 nicht erfüllt) oder *BPLOT4* [Fuj+18] (27 (teilweise) erfüllt / 5 nicht erfüllt / 3 unbekannt), scheinen universeller einsetzbar und in der theoretischen Analyse der Aufgabe „nicht-visuelles Zeichnen“ und den Nutzerbedürfnissen sehr gut angepasst. Demgegenüber stehen moderne webbasierte Programme, wie *GeoGebra Mathe Apps* [oGeo19] (32 (teilweise) erfüllt / 3 nicht erfüllt) oder *Desmos Graphing Calculator* [oDes19a] (32 (teilweise) erfüllt / 3 nicht erfüllt), die zwar viele Kriterien beachten, aber auf die Domäne der Mathematik und Geometrie beschränkt sind.

Verallgemeinert lässt sich aber allein durch diese Analyse keine Aussage über die Gebrauchstauglichkeit oder User Experience der Systeme treffen. Es lassen sich jedoch Grundsätze identifizieren, die in bisherigen Systemen bereits sehr weit verbreitet und unterstützt sind, und solche, die kaum umgesetzt, erwähnt oder gar beachtet werden.

So lässt sich erkennen, dass das selbständige Erstellen von Inhalten (1a, 91 %), eine relativ intuitive Benutzungsschnittstelle (1c, 86 %), unmittelbare Rückmeldung nach Nutzereingaben (1e, 84 %) und verschiedenste Hilfestellungen zur Bewahrung der Orientierung (2c, 84 %) recht weit verbreitet sind. Das Bearbeiten (3b, 80 %) und Löschen von Elementen (3d, 78 %), sowie der Zugang zur dargestellten Information mittels verschiedener Kanäle (4a, 82 %), wie beispielsweise einer GUI (4c, 78 %), aber auch die taktile Ausgabe (4b, 70 %) sind offensichtlich ebenfalls als gängige Eigenschaften von Zeichensystemen etabliert. erfüllt

Am seltensten werden Möglichkeiten zur Anpassung der Ausgabe (4e, 20 %), wie zum Beispiel Zoom (3i, 24 %), oder ein redundanter, multimodaler Zugang zu Funktionen (1d, 51 %) umgesetzt. Dies liegt sicherlich auch an den entsprechend genutzten Metaphern oder Ausgabegeräten. Ebenso verhält es sich mit den Möglichkeiten, Objekte zu duplizieren (3h, 29 %) sowie dem Erstellen von Freihandzeichnungen (3a, 56 %). Auch bieten nur etwas mehr als die Hälfte der betrachteten Systeme Unterstützung beim Verbinden von Linien (3e, 51 %), die Möglichkeit, Objekte präzise verändern zu können (3c, 52 %), oder unterstützen eine beidhändige Interaktion (2g, 60 %). nicht erfüllt

Die größten Lücken in den Beschreibungen der untersuchten Systeme liegen bei den Fragestellungen, ob ein System Hilfen bereitstellt (1h, 71 % Lücken), kritische Funktionalitäten gesondert absichert (2f, 64 % Lücken) oder kompatibel mit gängigen assistiven Technologien ist (1g, 53 % Lücken). Auch werden kaum Aussagen zur Gruppierung von Funktionen (4h, 51 % Lücken), den angebotenen Speichermöglichkeiten (3j, 49 % Lücken) oder den Individualisierungsmöglichkeiten für Ein- und Ausgaben (1f, 49 % Lücken) getroffen. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Autoren beziehungsweise die Entwickler der Systeme der besonderen Bedeutung solcher Eigenschaften für die Zielgruppe nicht ausreichend bewusst waren. unbekannt

### 4.3.3 Bewertung der Kriterien

Der vorangegangene Abschnitt zeigt, dass nicht alle zusammengetragenen Kriterien absolut notwendig für jedes System sind. Zudem würden Nutzende – unabhängig vom Nutzungskon-

text – nicht alle Kriterien als gleich wichtig einstufen. Um dies zu bestätigen und einen Hinweis darauf zu erhalten, welche der Kriterien als wichtig oder unwichtig eingestuft werden, wurde eine Befragung von blinden Personen durchgeführt, die eine solche Zeichenanwendung potentiell nutzen würden.

Eine solche Bewertung kann Entwicklern dazu dienen, Anforderungen auf ihren Kosten-Nutzen-Faktor hin zu bewerten und abzuwiegen. Einige Anforderungen scheinen sehr speziell (z. B. 2g – *Beidhändigkeit*) und schwer oder nur durch Einsatz teurer Technik umsetzbar (z.B. 4b – *taktile Ausgabe* oder 4f – *keine Rasterung*). Ebenso können sich zwei Anforderungen im speziellen Kontext negativ beeinflussen oder gar entgegenstehen (z. B. 1f – *Individualisierung für Tastenkommandos* und 1h – *Hilfe / Anleitung*). Entwickler können in solchen Fällen eine gewichtete Bewertung zur Entscheidungsfindung heranziehen.

**Teilnehmende** Im Rahmen der zum Zweck der Bewertung und Gewichtung von Anforderungen durchgeführten Untersuchung wurden sechs blinde Menschen (davon zwei Frauen) im Alter von 28–54 Jahren befragt. Drei Teilnehmende sind geburts- oder früherblindet. Alle Befragten können Braille lesen und haben Erfahrungen in der Erkundung und Erstellung von taktilen Grafiken sowie mit zweidimensionalen taktilen Flächendisplays gesammelt. Eine Übersicht über die demografischen Daten der befragten Personen findet sich in Tabelle 4.3. Die getätigte Bewertung zu den Erfahrungen basiert auf der Selbsteinschätzung der Probanden.

**Tabelle 4.3:** Demografische Daten der Befragten zur Bewertung der 35 Anforderungen für rechnergestützte Zeichensysteme für blinde Menschen (Skala der Selbsteinschätzung: 0 = *keine*, 1 = *sehr wenig* bis 5 = *sehr viel*)

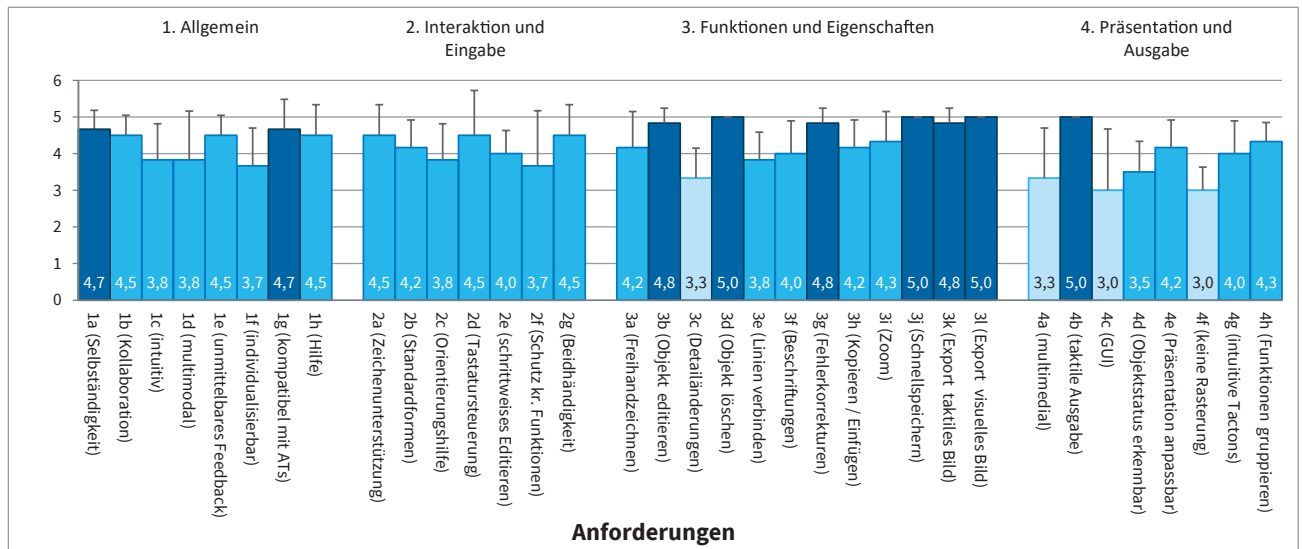
ID	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Geschlecht	w	w	m	m	m	m
Alter	33	54	28	30	28	37
geburts- oder früherblindet (ja / nein)	●	●	●	○	○	○
Braille-Lesen (ja / nein)	●	●	●	●	●	●
Erfahrung mit Stiftplatten (ja / nein)	●	●	●	●	●	●
Bewertung Erfahrung taktile Grafikerkundung	viel	sehr viel	viel	mittel	viel	viel
Bewertung Erfahrung taktile Grafikerstellung	mittel	viel	mittel	wenig	wenig	mittel

m männlich      ● ja

w weiblich      ○ nein

**Prozedur** Zur Bewertung der Kriterien wurde allen Befragten ein Kriterium nach dem anderen vorgelesen und erklärt. Danach sollten die Befragten eine Punktebewertung von 1 (*gar nicht wichtig*) bis 5 (*sehr wichtig*) für diese Eigenschaft oder Anforderung vornehmen, wobei eine Gleichverteilung zwischen den einzelnen Schritten angenommen werden sollte (Fünf-Sterne-Bewertungssystem). Die Bewertungsmöglichkeit 0 (*ich weiß nicht*) war ebenfalls zulässig, wurde aber von keiner befragten Person genannt. Des Weiteren durften die Befragten eigene Ergänzungen zu den Kriterien vorschlagen oder diese frei kommentieren. Die kumulierten nominalen Ergebnisse der Befragung sind als Mittelwerte mit Standardabweichung in der Abbildung 4.23 dargestellt.

**Auswertung** Mit einer durchschnittlichen Bewertung von 5,0 wurden 3d – *Objekte löschen können*, 3j – *Schnellspeichern*, 4b – *taktile Ausgabe* und 3l – *Export des visuellen Bildes* als absolut essentiell bewertet. Interessant ist, dass es Nutzenden wichtiger ist, das visuelle Ergebnis zu exportieren als das taktile (Kriterium 3k), was mit durchschnittlich 4,8 bewertet wurde. Ebenfalls als überaus wichtig für die Befragten wurden 1a – *selbständiges Erstellen von Objekten* ( $\bar{x}$  4,7), 1g – *Kompatibilität mit assistiven Technologien* ( $\bar{x}$  4,7), 3b – *Objekte editieren können* ( $\bar{x}$  4,8) und 3g – *Fehlerkorrekturen* ( $\bar{x}$  4,8) benannt.



**Abbildung 4.23:** Bewertung der 35 Kriterien für rechnergestützte Zeichensysteme für blinde Menschen durch sechs potentielle Nutzende (Skala von 1 = *gar nicht wichtig* bis 5 = *sehr wichtig*; Mittelwerte und Standardabweichungen)

Im Allgemeinen wurde in Summe keines der Kriterien schlechter als 3,0 bewertet, was der neutralen Bewertung zwischen unwichtig und wichtig entspricht. Dennoch wurden acht Kriterien von einzelnen Befragten als für sie unwichtig (1 oder 2) bewertet: 1d – *multimodaler Zugang* ( $\bar{x}$  3,8), 1f – *individualisierbar* ( $\bar{x}$  3,7), 2d – *Tastatursteuerung* ( $\bar{x}$  4,5), 2f – *Schutz kritischer Funktionen* ( $\bar{x}$  3,7), 3c – *Detailänderungen* ( $\bar{x}$  3,3), 4a – *multimedialer Zugang* ( $\bar{x}$  3,3), 4c – *GUI* ( $\bar{x}$  3,0) und 4f – *keine Rasterung* ( $\bar{x}$  3,0).

Generell waren die Befragten eher tolerant bei Kriterien der Präsentation beziehungsweise des Zugangs zu Funktionen, ausgenommen die taktile Ausgabe. Gerade ob eine GUI (4c) notwendig ist oder nicht, wurde unter den Befragten besonders heterogen bewertet ( $\bar{x}$  3,0, SD 1,7). Auch *Funktionsschutz* (2f,  $\bar{x}$  3,7, SD 1,5), *multimedialer Zugang* (4a,  $\bar{x}$  3,3, SD 1,4), *redundanter Zugang zu Funktionen* (1d,  $\bar{x}$  3,8, SD 1,3), oder die *Steuerung über die Standard-(QWERTZ-)Tastatur* (2d,  $\bar{x}$  4,5, SD 1,2) scheinen starken individuellen Präferenzen zu unterliegen.

Nach der Bewertung aller Kriterien wurden die Teilnehmenden nach weiteren noch nicht aufgeführten Kriterien gefragt. Keine befragte Person formulierte eine zusätzliche Anforderung. Dennoch wurden einige der Kriterien kommentiert.

Einige der Befragten unterstrichen nochmals den Wunsch und das starke Bedürfnis nach einer performanten – also schnell reagierenden – Anwendung mit taktiler Rückmeldung in Echtzeit (Kriterium 1e und 4b). Eine niedrige Latenz zwischen Nutzereingabe und Systemantwort wurde gefordert. Allerdings wiesen fünf von sechs Probanden darauf hin, dass eine kontinuierliche auditive Rückmeldung sie wohl sehr stark stören würde und vermieden werden soll. Gerade mit Sicht auf effizientes Arbeiten befürworteten die Befragten den Bedarf nach einer verlässlichen Funktion zum Rückgängigmachen von Operationen (3g), einer schnellen Speichermöglichkeit (3j) und vor allem die Kompatibilität mit ihrer eigenen assistiven Technologie (1g).

Kommentare

Teilnehmer P2 und P5 merkten an, dass sie es akzeptieren würden, wenn ein System sie stärker mental fordert, wenn es performant ist und einen kontinuierlichen und flüssigen Arbeitsablauf zulässt. Vor allem würden sie auf zusätzliche Bestätigungsdialoge für kritische Funktionen verzichten wollen, wenn es verlässliche Mechanismen zur Fehlerkorrektur (z. B. **Undo / Redo**) gibt. Solche Zusatzdialoge würden sie daran hindern, ihre Aufgaben effizient zu bearbeiten.

P1 gab zu bedenken, dass mit Hinblick auf Mehrfachbehinderungen auch die einhändige Bedienbarkeit gewährleistet werden sollte. Dies steht der Anforderung 2g (*Beidhändigkeit*) entgegen, könnte aber durch die Umsetzung der Anforderung 1f (*individualisierbar in Ein- und Ausgabe*) erreicht werden.

Die Unterstützung beim Zeichnen von Formen (Kriterium 2a) wurde auch kritisch gesehen. Zwei Befragte gaben zu bedenken, dass wenn sie eine eierförmige Form zeichnen möchten oder müssen, diese auch eierförmig bleiben und nicht irreversibel in einen Kreis überführt werden soll.

#### 4.3.4 Fazit

Der Abschnitt 4.3.2 zeigt deutlich, dass bisherige Systeme zur Interaktion mit grafischen Inhalten für sehbehinderte Nutzende nicht alle aus Abschnitt 4.3.1 zusammengetragenen Anforderungen und Empfehlungen erfüllen. Natürlich steht dem entgegen, dass nicht alle Kriterien für alle Einsatzbereiche notwendig erscheinen. Dennoch kann die Liste der 35 Kriterien in Kombination mit der Bewertung durch blinde Personen aus Abschnitt 4.3.3 eine Basis für ein Lastenheft darstellen und zur Bewertung des Funktionsumfangs von Systemen dienen. Die Analyse zeigt, dass sich mögliche Nutzende ein Programm zur Erzeugung visueller Grafiken wünschen, das dabei auf kontinuierliche taktile Echtzeit-Rückmeldung setzt, verlässliche Methoden zur Fehlervermeidung und Korrektur bereitstellt und kompatibel mit aktuellen assistiven Technologien ist. Eine Rangliste der in Tabelle 4.2 ausgewerteten Projekte, durch Einbeziehung der Gewichtung der Kriterien nach Abbildung 4.23, wird aufgrund der Unvollständigkeit der Informationen zu vielen Systemen in dieser Arbeit nicht vorgenommen.

Anforderung vs. Empfehlung Es ist nicht einfach, klar zwischen den Begriffen Anforderung und Empfehlung im Rahmen einer Anforderungsanalyse zu trennen. Die Bewertung aus Abschnitt 4.3.3 lässt nun eine klarere Trennung zwischen notwendigen Anforderungen und wünschenswerten Empfehlungen für nicht-visuelle Zeichenanwendungen zu. Als Entscheidungsschwelle kann beispielsweise eine durchschnittliche Bewertung von 4,0 angesetzt werden. Kriterien mit einer Bewertung größer oder gleich 4,0 können als wichtige Anforderungen angesehen werden und sollten damit priorisiert in der Entwicklung eines solchen Systems behandelt werden. Kriterien mit einer Bewertung unter 4,0 stellen folglich Empfehlungen für wünschenswerte Systemfunktionen und Eigenschaften dar.

# Qualitätsmanagement für taktile Grafiken

---

Die Einhaltung der Qualität einer taktilen Grafik soll deren Tauglichkeit für ihren angedachten Einsatz – die Übermittlung von Informationen und Wissen – sicherstellen. Dazu ist generell zu klären, was die Tauglichkeit einer taktilen Grafik einschränkt und wie Ersteller solcher Grafiken dabei unterstützt werden können, Fehler zu vermeiden oder diese im Rahmen eines Qualitätsmanagements zu identifizieren. Hierfür muss zuerst untersucht werden, wie eine barrierefreie Literatur- und Grafikumsetzung heutzutage realisiert wird.

## 5.1 Literaturumsetzung und Erstellung taktiler Grafiken

In diesem Abschnitt soll der aktuelle Ablauf einer barrierefreien Aufarbeitung von Literatur und die darin eingebundenen Werkzeuge und Personen beschrieben werden. In einer 2014 durchgeführten Online-Befragung [\*PBW14] wurden 27 Institutionen, die eine Umsetzung von barrierefreier Literatur für blinde und sehbehinderte Menschen anbieten, zu ihren internen Transkriptionsprozessen befragt. Darunter waren sechs Universitäten, sechs Förder- und Ausbildungszentren, vier Bibliotheken, vier Schulen, drei Medienzentren und vier weitere Organisationen. 16 Organisationen gaben an, Umsetzungen für blinde und sehbehinderte Menschen zu erstellen, neun sogar ausschließlich für blinde Braille-Leser<sup>1</sup>.

Bei der Literaturumsetzung eines Buches können generell acht Schritte identifiziert werden. Nicht jeder davon ist für jedes Dokument notwendig oder wird von allen Institutionen durchgeführt:

1. Organisatorische **Recherche**, ob das Buch oder Teile davon bereits umgesetzt wurden

basiert auf



[\*PBW14]

Ablauf  
barrierefreie  
Literatur-  
Umsetzung

---

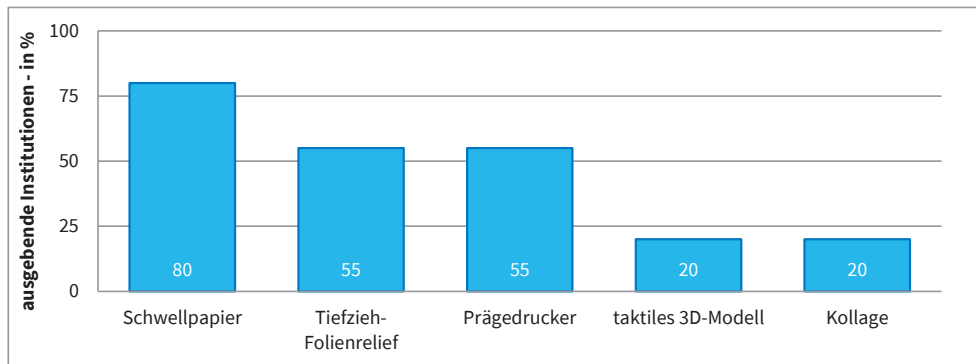
<sup>1</sup> Eine Organisation setzt keine Bilder um, eine nur für sehbehinderte Menschen.

2. **Digitalisierung** des Quelldokumentes, beispielsweise durch Scannen und OCR
3. **Umsetzung** als barrierefreie Version, inklusive Korrektur von Fehlern
4. **Konvertierung** in Braille oder Audioformat
5. **Produktion** / Testdruck
6. **Qualitätskontrolle**, beispielsweise durch Korrekturlesen
7. **Distribution** an den Auftraggebenden
8. **Archivierung** des Ergebnisses

Transkription von Bildern	Bei der Umsetzung von Literatur – im Speziellen Fachliteratur – kommt den darin enthaltenen Bildern besondere Bedeutung zu. Jedoch werden nicht immer alle Grafiken eines Buches in ein zugängliches Format, wie eine Bildbeschreibung oder taktile Grafik, überführt. Einige der an der Befragung teilnehmenden Institutionen gaben an, sogar nur die absolut relevanten Grafiken zu bearbeiten. Die meisten der befragten Institutionen (18 von 25) bieten aber die Übertragung von Grafiken mit Alternativbeschreibung und, wenn nötig oder gewünscht, als taktile Grafik an. Nur wenige gaben an, ausschließlich Alternativbeschreibungen (4 von 25) oder nur taktile Grafiken (3 von 25) zu erstellen.
Aufwand und Art	Die Umsetzung einer Grafik wird mit durchschnittlich ein bis zwei Stunden pro Grafik als aufwendig beschrieben, wobei Zeitspannen für die Grafikumsetzung von wenigen Minuten bis zu 60 Stunden berichtet wurden. Bei den meisten Institutionen gibt es keinen festen Zeitpunkt, an dem entschieden wird, ob und welche Grafiken in eine taktile Form überführt werden. Wenn grundsätzlich keine Vorgabe durch den Auftraggeber zur Umsetzung von allen oder nur bestimmten Grafiken festgelegt wurde, wird ad-hoc entschieden, ob eine Grafik umgesetzt wird und wenn ja, ob eine textuelle Alternative ausreichend ist. Ist eine Entscheidung zur Übertragung getroffen, findet diese in den meisten Fällen parallel zur Textumsetzung statt. Als Entscheidungsgründe, warum (zusätzlich) eine taktile Grafik angefertigt wird, wurden hauptsächlich folgende genannt: unzureichende textuelle Beschreibung; die Grafik ist für eine Bildbeschreibung allein zu komplex; Nutzeranfrage beziehungsweise Anforderung einer taktile Grafik; die Grafik ist besonders relevant / wichtig; Kosten-Nutzen Abwägung; die Grafik ist zur taktilen Darstellung geeignet.
personelle Ressourcen	Oftmals wird kein gesondertes Personal für die textuelle Umsetzung von Grafiken betraut. Das heißt, Bildbeschreibungen werden von der selben Person erstellt, die auch die Textübertragung verantwortet. In einigen Fällen wird auch die Transkription in taktile Grafiken durch diese Personalie durchgeführt. Auch wenn taktile Grafiken oft durch Laien, wie Mitschüler, Kommilitonen, Familienmitglieder, Lehrer oder Hilfskräfte erstellt werden, so zeichnet sich aus den Aussagen der befragten Einrichtungen ab, dass diese versuchen, fachkundiges (Grafiker, qualifizierte Mitarbeiter) oder sachkundiges (Lehrer, Pädagogen) Personal einzubinden. Trotzdem bleiben diese Spezialisten die Minderheit. In weniger als 20 % der Fälle werden speziell geschulte Mitarbeiter für Textbeschreibungen (4 von 21) und in gut 30 % bei taktilen Grafiken (6 von 19) eingesetzt. Der Großteil der eingesetzten Personen sind (temporär beschäftigte) Hilfskräfte oder anderweitig beschäftigte Personen – und somit ebenfalls Laien <sup>2</sup> .
Ablauf barrierefreie Bilder-Transkription	Aus den freien Beschreibungen der Institutionen, wie ihr Transkriptionsprozess für Grafiken organisiert ist, wurden zehn grundlegende Schritte identifiziert. Einige sind dabei optional und nicht bei allen Umsetzenden etabliert. Ebenso kann die Reihenfolge leicht variieren. Die Einzelschritte sind vergleichbar mit denen, die LADNER et al. identifizierten [Lad+05]:

<sup>2</sup> Diese können jedoch entsprechende, teils langjährige Erfahrungen im Bereich der taktilen Bildumsetzung haben.





**Abbildung 5.1:** Verbreitung und Nutzung statischer taktiler Medien durch produzierende Institutionen (n = 20) nach [\*PBW14]

1. **Planung:** Entscheidung über die Wiederverwendung oder die Anpassung einer bereits existierenden Grafik.
2. **Digitalisierung:** Falls erforderlich wird das Originalbild aus der Originalquelle extrahiert oder eingescannt.
3. **Vektorisieren / Nachzeichnen:** Linien und Strukturen werden extrahiert – oft durch manuelles Nachzeichnen.
4. **Bildbearbeitung:** Korrekturen, Vereinfachung, Aufteilung, Texturierung, und Ähnliches der Originalgrafik.
5. **Annotation:** (Braille-)Labels und, bei Bedarf, Legenden werden hinzugefügt.
6. **Produktion:** Erstellung der taktilen Grafik, beispielsweise als Prägedruck.
7. **Prüfung:** Idealerweise durch eine blinde Person, ansonsten durch Zuhilfenahme von Richtlinien (siehe Abschnitt 5.2 – *Qualitätsmerkmale und Richtlinien für taktile Grafiken*).
8. **Bildbeschreibung:** Ergänzung der zu übertragenden Quelle um eine Bildbeschreibung und einen Hinweis zur taktilen Grafik.
9. **Verteilung:** Ausgabe an die Konsumenten.
10. **Archivierung:** Digital und / oder Hardcopy<sup>3</sup>.

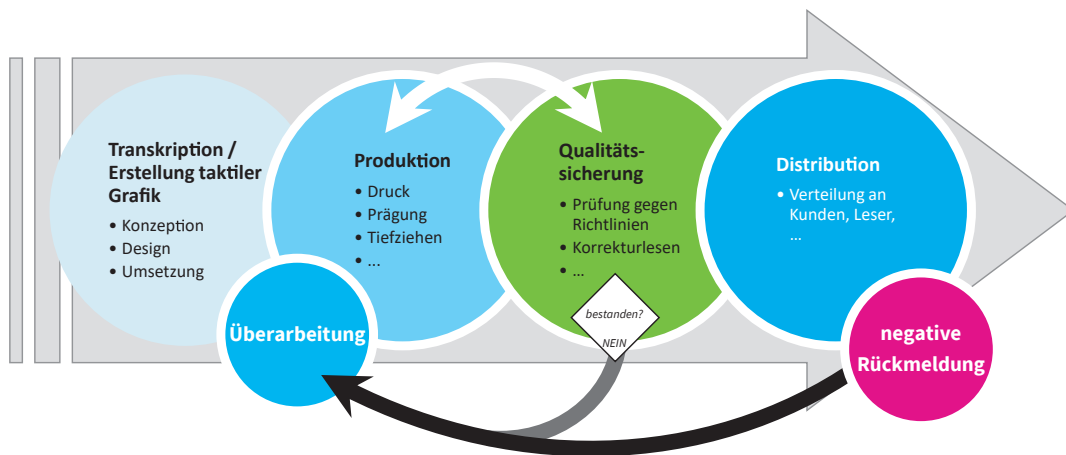
Final werden taktile Grafiken durch die Institutionen am häufigsten als Schwellpapier (80 %), als taktiler Ausdruck (55 %) oder als Tiefziehrelief (55 %) ausgeliefert (vergleiche Abbildung 5.1). Andere Arten, wie 3D-Druck oder Kollagen und Ähnliches (vergleiche Abschnitt 3.2.1 – *Statisch-taktile Medien*), werden nur sehr selten verteilt. Die Ausgabe von dynamischen taktilen Medien oder der Einsatz von audio-taktilen Formaten ist ebenfalls noch nicht sehr verbreitet, auch wenn Konsumenten schon deutlich mehr Kontakt damit haben (siehe dazu auch Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten*).

Ausgabeformate  
für Grafiken

Im Durchschnitt werden während der Literaturumsetzung vier verschiedene Softwarewerkzeuge eingesetzt. Zwei Institutionen gaben sogar an, mehr als zehn verschiedene Programme in einem Umsetzungsprozess zu verwenden. Darunter sind neben verschiedenen Programmen zur Grafikbearbeitung auch Textverarbeitungsprogramme. Auffällig ist, dass viele Institutionen den Einsatz von klassischer Office-Software (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation oder

verwendete  
Programme

<sup>3</sup> taktiler Ausdruck oder (Relief-)Master (siehe Abschnitt 3.2.1)



**Abbildung 5.2:** Qualitätsmanagement im Transkriptionsprozess für barrierefreie Grafiken

Präsentationssoftware) für die Erstellung und Bearbeitung von taktilem Bildmaterial angegeben haben. Die meisten Institutionen (88 %) setzen dabei vollständig oder teilweise auf das Windows Betriebssystem für ihre Prozesse.

**Qualitätsmanagement** 70 % der Institutionen gaben an, das sie in ihrem Transkriptionsprozess eine Art der Qualitätssicherung installiert haben. Dazu zählen unter anderem der Einsatz von beziehungsweise die Prüfung gegen Richtlinien, die Wiederverwendung von Gestaltungsmerkmalen, wie Symbolen oder Mustern, sowie in einigen Fällen das Korrekturlesen des Ergebnisses durch eine blinde oder sehbehinderte Person. Der Schritt der Qualitätssicherung kann dabei vor oder nach der taktilen Produktion installiert werden (siehe Abbildung 5.2).

**Unzufriedenheit der Konsumenten** Nach eigenen Aussagen von blinden Menschen bestehen jedoch immer noch große Qualitätsprobleme in den derzeit verfügbaren taktilen Grafikmaterialien. Fast alle Institutionen (17 von 20) gaben an, auf Nutzerrückmeldung zu Qualitätsproblemen in ihren Materialien – wenn möglich oder nötig – zu reagieren und diese einer Revision zu unterziehen.

Nicht immer sind Negativrückmeldungen auf die Qualität der Grafik zurückzuführen. Dennoch stellen solche unzulänglichen oder unverständlich produzierten und ausgelieferten Materialien ein Problem dar. Kann eine blinde Person das Material nicht effektiv nutzen und muss auf eine Überarbeitung warten, geht eventuell wertvolle Zeit verloren. Zusätzlich werden auf Seiten des Produzenten weitere Ressourcen für die Überarbeitung gebunden. Ein effektiver und effizienter Qualitätssicherungsmechanismus könnte hier für beide Seiten von Nutzen sein.

## 5.2 Qualitätsmerkmale und Richtlinien für taktile Grafiken



Die im vorangegangenen Abschnitt befragten Institutionen setzen vorrangig auf interne oder allgemeine Richtlinien und Gestaltungsempfehlungen zur Qualitätssicherung. Dazu werden eigene und proprietäre Richtlinien, die sich meist auf zusammengetragene Erfahrungen (Best-Practice) stützen [oHel01; JK01; oLeu08; oSch02; oTAE02], oder durch Untersuchungen ermittelte Richtlinien, wie die der *Braille Authority of North America (BANA)* [oBAN10], herangezogen.

**Konsistenz** Solche Zusammenstellungen von Hinweisen zur Vermeidung von immer wieder auftretenden Fehlern sowie zur Verbesserung von Lesbarkeit und Verständnis sollen in erster Linie

Einsteigern oder Laien helfen. Darüber hinaus soll eine Vereinheitlichung von taktilen Umsetzungen gefördert werden. Gerade die Vereinheitlichung stützt eine der wichtigsten und immer wieder benannten Hinweise bei der institutionellen Transkription von Grafiken – *Konsistenz in der Gestaltung*. Die Grundidee dahinter ist, dass sich Lesende auf eine bestimmte Art der Gestaltung und wiederkehrende Merkmale sowie ein konsistentes Layout verlassen können. Dies soll helfen, einen leichteren Zugang zu den einzelnen Gestaltungsmerkmalen zu bekommen, diese wiederzuerkennen, leichter interpretieren zu können oder verlässliche Referenzen (zum Beispiel über die Ausrichtung des Blattes) zu bieten.

Einer der wohl wichtigsten Hinweise an Erstellende taktiler Grafiken ist, diese so einfach wie möglich zu gestalten (*Einfachheit*). Je einfacher eine Grafik gestaltet ist – dazu zählen unter anderem die Anzahl und die Komplexität der dargestellten Formen – umso leichter sind die Einzelteile zu erkennen und damit das Gesamtbild und die eigentliche Aussage zu identifizieren. Das unmittelbar damit verbundene wichtigste Qualitätsmerkmal ist die *Erkennbarkeit* und, im Speziellen, die *Verfolgbarkeit von Linien* und Konturen. Wenn sich die taktilen Eigenheiten, die die Gestalt der einzelnen Formen und Objektmerkmale ausmachen, nicht einfach erfühlen lassen, steigert dies die Chance, dass Missverständnisse entstehen oder die Darstellung im Allgemeinen unverständlich ist.

Einfachheit und  
Erkennbarkeit

An die *Erkennbarkeit* ist ein weiteres Qualitätsmerkmal gebunden – das der *Unterscheidbarkeit*. Darunter ist zu verstehen, dass zwei Objekte, die nicht gleich oder gleichartig sein sollen, auch als solche klar voneinander zu unterscheiden sind. Ebenso verhält es sich mit Elementen, die nicht als zusammengehörig erkannt werden sollen. Diese müssen weit genug voneinander weg platziert werden, sodass der Eindruck der Zusammengehörigkeit erst gar nicht entsteht. Als einfache Faustformel und (zugegebenermaßen nicht einheitlich und standardisiertes) körpereigenes Hilfsmittel kann der Finger herangezogen werden. Vertiefungen (und damit auch Separationen) werden deutlich wahrgenommen, wenn der Finger „hineinfallen“ kann. Objekte können in ihrer Gestalt ertastet werden, wenn sie mindestens so groß wie die Fingerspitze selbst sind und mindestens ein konkretes (Unterscheidungs-)Merkmal deutlich erkennbar ist.

Unterscheid-  
barkeit

All diese Merkmale sind stark an das taktile Medium gekoppelt, auf dem die Grafik präsentiert wird (vergleiche dazu Abschnitt 3.2). Es ist also sinnvoll, bereits im Entstehungsprozess die Gestaltung an das zukünftige Präsentationsmedium anzupassen. Dies kann durch geeignete Wahl von Abständen, minimalen und maximalen Objekt- oder Merkmalsgrößen, sowie der Wahl von angepassten Füllmustern [\*PBW17] realisiert werden. Eine Prüfung, ob die getroffenen Maßnahmen erfolgreich waren, kann aber oft erst nach der taktilen Produktion geschehen.

Medienabhängig-  
keit von  
QS-Merkmalen

Neben den rein auf den Tastsinn ausgerichteten Qualitätsmerkmalen, sind auch Aspekte der Wissensbasis der Zielgruppe in die Gestaltung einzubeziehen. So stellt beispielsweise die Darstellung dreidimensionaler Projektionen in den zweidimensionalen Raum eine sehr große Herausforderung für blinde Menschen dar [Fuj+10]. Die (Wieder-)Erkennung des Dargestellten und die Interpretation dessen, was verzerrt und in seiner flachen visuellen Gestalt erfasst, jedoch nicht eins zu eins als solches verstanden werden kann und soll, ist gerade für geburtsblinde Personen eine intuitiv kaum zu bewältigende Aufgabe [Hel+02; Ken93]. Dennoch sind diese Prinzipien Teil der höheren Ausbildung und müssen auch durch sehbehinderte Menschen erlernt, verstanden und teilweise grafisch angewendet werden können [Fuj+10].

Verzicht auf  
dreidimensionale  
Darstellungen und  
Projektionen

Generell sollte jedoch, egal wie gut die taktile Darstellung selbst ist, jeder taktilen Grafik eine aussagekräftige Bildbeschreibung mitgeliefert werden. Diese kann als Substitution für rein digitale Dokumente (HTML, PDF, etc.) oder als Einstiegshilfe dienen, die dem Leser den

unterstützende  
Bildbeschreibung

Kontext und die Grundaussagen vermittelt. Gerade die frühzeitige Einordnung dessen, was dann ertastet wird, steigert die Erkennungsrate und damit das Verständnis enorm [Ken93]. Richtlinien für eine gute Bildbeschreibung finden sich ebenfalls in [\*PB16, S. 2–5].

Nachfolgend wird ein Auszug über die wichtigsten Kriterien<sup>4</sup> für gute taktile Grafiken nach [\*PB16, S. 6 ff.] gegeben:

**Kriterien des Bildaufbaus:**

- Wahrung der ursprünglichen Aussage
- Einfachheit
- Vermeidung von Perspektive
- Erkennbare Leserichtung
- ...

**Allgemeine Kriterien für Bildelemente:**

- Unterscheidbarkeit / Kontrast
- Vermeidung von Überschneidungen und Unterbrechungen
- Einhaltung von Mindestabständen ( $\geq 3$  mm)
- ...

**Kriterien für taktile Formen, Linien und Füllungen:**

- Minimale Objektgröße (Seitenlänge  $\geq 1,3$  cm)
- Wahrnehmbare Pfeildarstellung
- Unterscheidbarkeit taktiler Texturen
- Leichte Verfolgung von Linien
- ...

**Kriterien für Braille-Beschriftungen:**

- Reduzierung von Text
- Einhaltung Brailleschriftgröße
- Eindeutige Zuordnung zum Grafikelement
- Vermeidung von Führungslinien
- Vorhandensein einer Legende
- ...

Die Kriterien basieren auf einer Zusammenstellung vorhandener Richtlinien (u. a. [oBAN10; oHel01; JK01; oLeu08; oSch02; oTAE02]), welche gegen die berichteten Qualitätsprobleme aus Abschnitt 3.4 validiert und konkretisiert wurden. Der Kriterienkatalog beinhaltet insgesamt 40 Kriterien. Jedes Kriterium besteht neben einer kurzen Erläuterung auch aus konkreten Umsetzungsempfehlungen und Beispielen. Dies soll insbesondere Laien den Zugang zu den Richtlinien erleichtern.

---

<sup>4</sup> Die Reihenfolge stellt dabei keine Wertung der Wichtigkeit dar.

## 5.3 Prüfwerkzeug zur Bewertung taktiler Grafiken

Die Anwendung von Richtlinien für die Erstellung taktiler Grafiken kann aufgrund des meist recht großen Umfangs oder der Spezialisierung auf bestimmte Grafiktypen unkomfortabel sein. Dennoch setzen Dienstleister bei der Transkription von taktilen Grafiken auch auf solche Richtlinienkataloge [\*PBW14] zur Qualitätssicherung.

In diesem Abschnitt soll überprüft werden, ob solche Richtlinien für Laien ein probates Mittel zur Vermeidung von grundlegenden Fehlern bei der Erstellung taktiler Grafiken sind. Dazu wird ein Hilfsmittel zur einfacheren Nutzung eines solchen Kriterienkataloges als Prüfwerkzeug vorgestellt. Dieses wird anschließend in einer zweistufigen Evaluation zur Überprüfung von **Hypothese 1** eingesetzt.

### 5.3.1 Online Prüfdialog

Als Hilfsmittel zum leichteren Umgang mit dem Kriterienkatalog für gute taktile Grafiken [PB16] wurde ein Werkzeug entwickelt, das beim Bewerten einer Grafik unterstützen soll. Dabei ist ein Dialog entstanden, der durch alle Kriterien des Kataloges führt und abschließend die Prüfergebnisse zusammenfasst. Prüfdialog

Um die 40 Kriterien in sechs Kategorien und drei Prioritätsstufen aus dem Prüfkatalog maschinenlesbar und verarbeitbar zu machen, wurden sie in ein XML-Format überführt [sDS14]. Eine Übersicht über die zugrundeliegende XML-Struktur ist dem Programmcode 5.1 zu entnehmen – das zugehörige XML-Schema findet sich im Anhang (Code 1 ab Seite 286). Prüfkriterien als XML-Struktur


```
<testCriteria>
  <metadata>
    <head profile="http://dublincore.org/documents/dcq-html/">
      <!-- some Dublin Core data -->
    </head>
  </metadata>

  <category name="" id="">
    <desc></desc>
    <help></help>
    <criterion id="" name="" mode="" priority="" relation="">
      <desc></desc>
      <help></help>
      <recommendation type="">
        <item role="" id="" ref="">
          <desc></desc>
          <var name="" value="" min="" max="" media=""/>
        </item>
      </recommendation>
    </criterion>
  </category>
</testCriteria>
```

**Code 5.1:** XML-Struktur Überblick für einen Kriterienkatalog

Zur Prüfung kann der Dialog schrittweise durchlaufen werden. Es werden die Prüfkriterien in ihren Kategorien zusammengefasst und sequenziell nach ihrer Definition in der Test-XML aufgelistet. Zu jeder Kategorie sowie zu jedem Testkriterium wird neben einer eindeutigen Benennung auch eine detaillierte Beschreibung mit Hinweisen geliefert (siehe Abbildung 5.3 a). Danach kann das Prüfergebnis in den zugehörigen Bewertungsbereich für das Kriterium eingetragen und um eine zusätzliche freie Notiz ergänzt werden.

Anwendung und  
Bewertung eines  
Kriteriums

Einführung Metadaten etc.	Bewertung Gegen Kriterien prüfen	Auswertung Zeige die Resultate
<b>Bildaufbau</b> [BA_Intro] Intro [BA_KZ] Konsistenz ✓ [BA_UA] Wahrung der ursprünglichen Aussage ✓ [BA_E] Einfachheit ⚠ [BA_P] Vermeidung von Perspektivie ✓ [BA_LR] Erkennbare Leserichtung ✓ [BA_RL] Vorhandensein einer Referenzlinie ✓ [BA_AR] Abstand zum Rand ✓  <b>Bildelemente</b> [BE_Intro] Intro [BE_US] Unterscheidbarkeit ✗ [BE_UE] Vermeidung von Überschneidungen ✓ [BE_UN] Vermeidung von Unterbrechungen ✓ [BE_MA] Einhaltung eines Mindestabstands ✓ [BE_EE] Erhebene Elemente ⚠  <b>Taktile Formen und Füllungen</b> [TF_Intro] Intro [TF_OG] Minimale Objektgröße ✗ [TF_PS] Punktsymbole ✓ [TF_PF] Vermeidung von Pfeilen ✓ <b>TF_PD] Wahrnehmbare Pfeildarstellung</b> [TF_TT] Füllung mit taktilen Texturen ✓ [TF_ET] Eignung taktiler Texturen ✓ [TF_UT] Unterscheidbarkeit taktiler Texturen ✓ [TF_AT] Anzahl taktiler Texturen ✓  <b>Taktile Linien</b> [TL_Intro] Intro [TL_V] Linienverfolgung ✓ [TL_B] Linienbreite ✓ [TL_L] Linienlänge ✓ [TL_S] Linienstärke ✓ [TL_A] Abstand zwischen Linien ✓ [TL_G] Gitterlinien und Raster ✓  <b>Braillebeschriftungen</b> [BB_Intro] Intro [BB_R] Punktschreibung von Text ✓	<p><b>[TF_PD] Wahrnehmbare Pfeildarstellung [Priorität 1 - sehr hoch]</b></p> <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Abhängiges Kriterium erfüllt</b>              Ein für die Erfüllung oder Anwendbarkeit dieses Kriteriums erforderliche Bedingung ist erfüllt.              Kriterium: [TF_PF] Vermeidung von Pfeilen</p> </div> <p><b>Beschreibung</b></p> <p>Falls auf Pfeile nicht verzichtet werden kann, dann sollten diese wohldefiniert sowie gut wahrnehmbar sein.</p> <p><b>Bewertung</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Pfeile sind einheitlich (wohldefiniert)  <input type="checkbox"/> Pfeile sind gut wahrnehmbar</p> <p><b>Notiz</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; min-height: 40px;">             Some notes ...           </div> <p><b>Hilfe</b></p> <p>Hinweise zur Umsetzung des Kriteriums:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• konkrete Form und Größe des Pfeils ist abhängig vom Medium zu wählen</li> <li>• Pfeilkopf mit mittelter Basis (45° Winkel) verwenden</li> <li>• Pfeilschaft gepunktet oder gestrichelt, wenn Pfeil kein wesentlicher Bestandteil der Grafik ist</li> <li>• Abstand zwischen Pfeilkopf und Zielobjekt lassen (3mm)</li> <li>• Pfeil nicht unterbrechen; ansonsten für jeden Teil-Schaft eigene Pfeilspitze notwendig</li> <li>• wenn Pfeil eine Linie kreuzt, dann diese unterbrechen und Abstand zum Pfeilschaft lassen</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Kopf zu klein      korrekt      Winkel zu groß</p> </div> <p>← Previous TF_PF      Next TF_TT →</p>	

a) Bewertung eines Kriteriums mit bebildeter Hilfestellung zur näheren Erläuterung des Kriteriums

Einführung Metadaten etc.	Bewertung Gegen Kriterien prüfen	Auswertung Zeige die Resultate
<b>Bildaufbau</b> [BA_Intro] Intro [BA_KZ] Konsistenz ✓ [BA_UA] Wahrung der ursprünglichen Aussage ✓ [BA_E] Einfachheit ⚠ [BA_P] Vermeidung von Perspektivie ✓ [BA_LR] Erkennbare Leserichtung ✓ [BA_RL] Vorhandensein einer Referenzlinie ✓ [BA_AR] Abstand zum Rand ✓  <b>Bildelemente</b> [BE_Intro] Intro [BE_US] Unterscheidbarkeit ✗ [BE_UE] Vermeidung von Überschneidungen ✓ [BE_UN] Vermeidung von Unterbrechungen ✓ [BE_MA] Einhaltung eines Mindestabstands ✓ [BE_EE] Erhebene Elemente ⚠  <b>Taktile Formen und Füllungen</b> [TF_Intro] Intro [TF_OG] Minimale Objektgröße ✗ [TF_PS] Punktsymbole ✓ [TF_PF] Vermeidung von Pfeilen ✓ <b>TF_PD] Wahrnehmbare Pfeildarstellung</b> ✓ [TF_TT] Füllung mit taktilen Texturen ✓ [TF_ET] Eignung taktiler Texturen ✓ [TF_UT] Unterscheidbarkeit taktiler Texturen ✗ [TF_AT] Anzahl taktiler Texturen ✓  <b>Taktile Linien</b> [TL_Intro] Intro [TL_V] Linienverfolgung ✓ [TL_B] Linienbreite ✓ [TL_L] Linienlänge ✓ [TL_S] Linienstärke ✓ [TL_A] Abstand zwischen Linien ✓ [TL_G] Gitterlinien und Raster ✓		<p style="text-align: center;"><b>Auswertung</b></p> <p><b>Angaben zur prüfenden Person</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>Name: [Name]</p> <p>Matr.-Nr.: [Matr.-Nr.]</p> <p>Prüfungstermin: [Termin]</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Test nicht bestanden! (85%)</b>              Es wurden einige kritische Kriterien nicht erfüllt.              33 Kriterien bewertet: Davon 30 bestanden 3 nicht bestanden (3 kritische) - 7 nicht anwendbar</p> </div> <p><b>Bewertungen</b></p> <p><b>Kategorie Bildaufbau [BA]</b></p> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>✓ <b>Konsistenz [BA_KZ]</b></p> <div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green 100%);"></div> <p>100%</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>✓ <b>Wahrung der ursprünglichen Aussage [BA_UA]</b></p> <div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green 100%);"></div> <p>100%</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>⚠ <b>Einfachheit [BA_E]</b></p> <div style="width: 70%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green 70%, yellow 70%);"></div> <p>70%</p> <p><small>Notice: Einige Elemente sind nicht ganz so einfach zu ertasten, weil sie sehr klein sind</small></p> </div>

b) finale Auswertung der Bewertungen mit Angabe, wie viele und welche Kriterien bestanden, nicht bestanden und übersprungen wurden

Abbildung 5.3: Online-Prüfdialog für taktile Grafiken

Die Art der zur Verfügung stehenden Bewertung richtet sich nach dem Typ (**type**) der Empfehlung (**recommendation**). Dabei kann unterschieden werden, ob alle Punkte (**item**) erfüllt sein müssen (**all**), eine bestimmte Anzahl (**count**), eine freie Wertung zwischen 0 und 10 (**item/role="rating"**) oder ob genau ein Punkt aus einer Auswahl zutreffen muss (**one**). Letzteres kann auch für Filterfragen genutzt werden, die den weiteren Verlauf des Dialoges beeinflussen. Dies kann beispielsweise dazu genutzt werden, den einzelnen Kriterien konkrete Werte in Form von medienspezifischen (**media**) Variablen (**var**) zuzuweisen oder bedingte Kriterien (**criterion/relation**) beziehungsweise Unterpunkte (**item/ref**) zu steuern. Abschließend werden die Einzelbewertungen der Kriterien zur Bildung eines Prüfberichtes herangezogen.

Art der Bewertung

Anfangs war der Prüfdialog als Offline-Version angedacht, die sich in die Open Source Software *Open-Office*<sup>5</sup> integrieren lässt [sDS14]. Unzulänglichkeiten in den Gestaltungsmöglichkeiten sowie eine unzureichende Barrierefreiheit machten diese Umsetzung wenig zielführend. Der Prüfdialog wurde darum als Online-Variante auf php-Basis realisiert. Neben der Kompatibilität mit annähernd allen Endgeräten besteht darüber hinaus die Möglichkeit, detaillierte Beschreibungen zu Kriterien (**desc**) sowie weitergehende, strukturierte und mit Bildern oder weiterführenden Links versehene Hilfen (**help**) zu den Kriterien anzubieten (siehe Abbildung 5.3).

Implementierung

Eine abschließende Präsentation der Prüfergebnisse in Form eines Prüfberichtes beendet den Dialog (siehe Abbildung 5.3 b). Dieser Bericht kann ausgedruckt sowie als PDF- und CSV-Datei exportiert werden. Ein Export der Ergebnisse in ein standardisiertes Prüfberichtformat (Evaluation and Report Language (EARL) [oAbo17]) wurde für die Offline-Version bereits umgesetzt [sDie15].

Prüfbericht

### 5.3.2 Evaluation

Im Rahmen der Arbeit wurde eine zweistufige Evaluation zur Untersuchung der Effektivität des Arbeitens mit Kriterienkatalogen durchgeführt. Die erste Untersuchung hatte zum Ziel zu überprüfen, ob Laien mit Hilfe eines solchen Kataloges in der Lage sind, angemessene taktile Grafikumsetzungen zu leisten. Dabei steht die Untersuchung der **Hypothese 1** – „Die Anwendung von Richtlinien kann nicht alle Fehler in taktilen Grafiken vermeiden“ – im Vordergrund.

Die zweite Evaluation sollte untersuchen, ob Laien mit Hilfe eines Kataloges beziehungsweise eines geführten Prüfdialoges in der Lage sind, Fehler in taktilen Grafikumsetzungen zu finden und damit die Güte einer taktilen Grafik zu bewerten.

#### 5.3.2.1 Evaluation zur taktilen Grafiktranskription

In einer ersten Untersuchung wurden zehn Personen (davon zwei weiblich) gebeten, jeweils eine von zwei visuellen Grafiken in eine taktile Variante zu übersetzen. Alle am Test teilnehmenden Personen waren sehend und hatten keine oder minimale Erfahrung mit der Umsetzung von taktilen Grafiken. Vor dem Test wurden alle Teilnehmenden in die Eigenheiten von taktilen Medien und Besonderheiten taktiler Grafiken detailliert eingeführt. Anschließend wurden sie mit dem Kriterienkatalog aus [PB16] und seinen 40 Hilfestellungen zur Gestaltung und zur Vermeidung von Fehlern vertraut gemacht.

Teilnehmende und Aufgabe

Den Teilnehmenden wurde eine von zwei Grafiken zugelost – darunter eine *schematische Darstellung des Stickstoffkreislaufs* in einer Unterwasserumgebung (siehe Abbildung 5.4 a) und

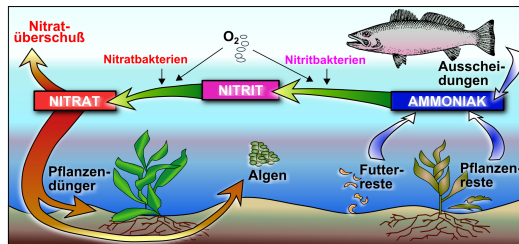
umzusetzende Bilder

<sup>5</sup> Apache OpenOffice – Url: <https://www.openoffice.org/> – zuletzt besucht Dez. 2019

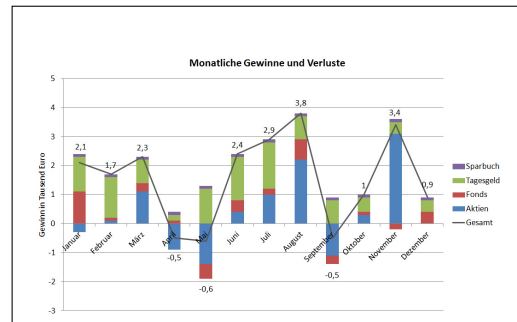


ein *gestapeltes Säulendiagramm* über die fiktive Jahresentwicklung von Anlageformen (siehe Abbildung 5.4b). Den Teilnehmenden wurde freigestellt, mit welchem Grafikprogramm sie die Grafik umsetzen. Die Umsetzung sollte für die Ausgabe auf einem grafikfähigen taktilen Prägedrucker mit mehreren Höhenstufen und einer Auflösung von 20dpi erfolgen. Der angesprochene Kriterienkatalog sollte bei der Übertragung berücksichtigt werden.

### Originalgrafiken, die in eine taktile Version umgesetzt werden sollten

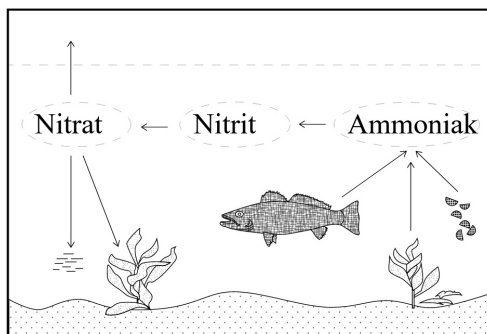


a) schematische Darstellung des Stickstoffkreislaufs in einer Unterwasserumgebung

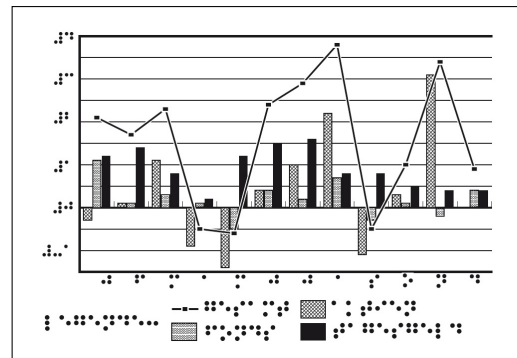


b) gestapeltes Säulendiagramm über Anlageentwicklungen

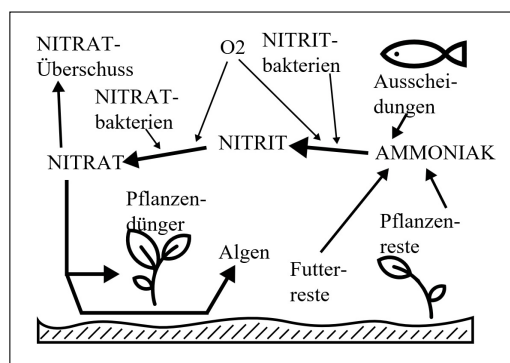
### Beispiele taktiler Umsetzungen



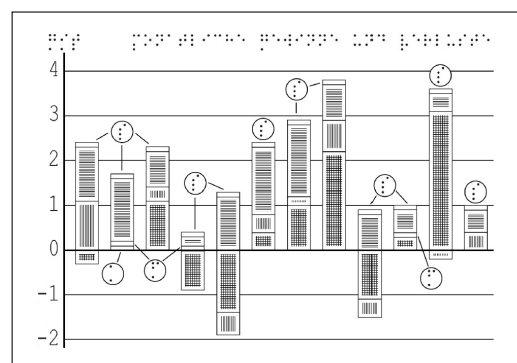
c) erfüllt 59 % der Kriterien: zu visuell geprägt, taktile Strukturen lassen sich nicht unterscheiden, Informationen fehlen, ...



d) erfüllt 66 % der Kriterien: einige Objekte zu klein, taktile Strukturen nicht unterscheidbar, Informationen weggelassen (Sparbuch), Achsenbeschriftungen fehlen, ...

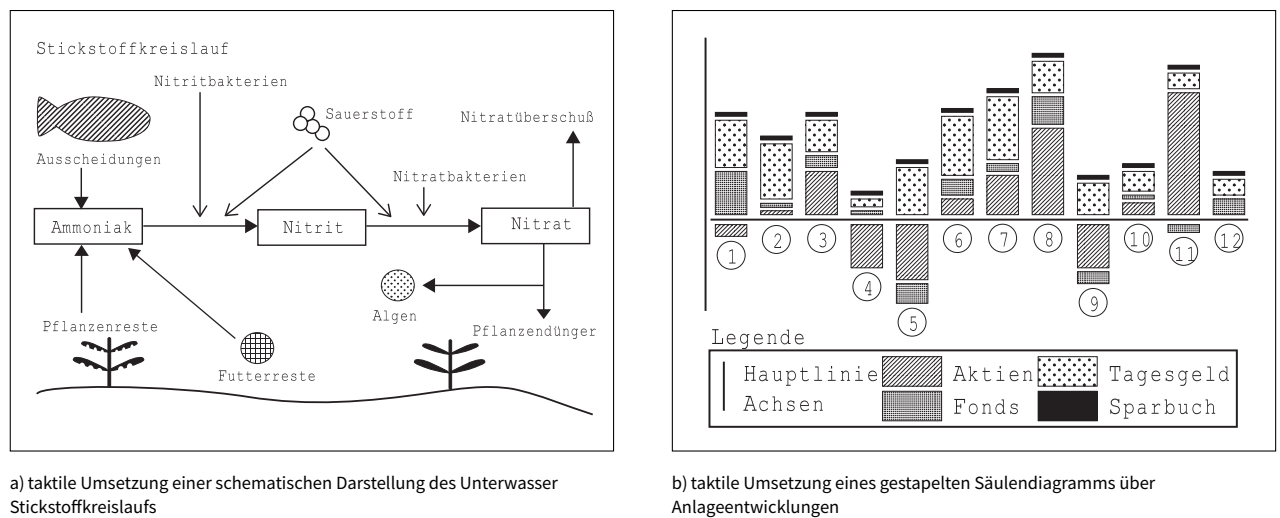


e) erfüllt 72 % der Kriterien: Abstände nicht eingehalten, Struktur etwas unübersichtlich, ...



f) erfüllt 83 % der Kriterien: Informationen weggelassen, Achsenbeschriftungen fehlen, taktile Strukturen nicht unterscheidbar, ...

**Abbildung 5.4:** Umzusetzende Grafiken und einige Beispiele taktiler Umsetzungen



**Abbildung 5.5:** Taktile Grafiken, die bewertet und auf Fehler untersucht werden sollten

Abschließend wurden die übertragenen Grafiken durch eine externe sehende Expertin (Anfang 30) mit Hilfe des geführten Prüfdialoges auf die Einhaltung der Kriterien bewertet. Einige Ergebnisgrafiken sind in Abbildung 5.4 dargestellt. Bewertung

Die Bewertung ergab, dass keine der umgesetzten taktilen Varianten alle Qualitätskriterien für taktile Grafiken erfüllt. Im Durchschnitt wurden nur rund 74 % (SD = 8 %) der anwendbaren Kriterien bei der *schematischen Zeichnung* und sogar nur 71 % (SD = 9 %) beim *Säulendiagramm* eingehalten. Am häufigsten wurden Angaben zu konkreten Größen und Abständen missachtet sowie die Aussage des Bildes verfälscht beziehungsweise dessen korrekte Interpretation verhindert. Hinzu kommt, dass alle Umsetzungen Elemente enthalten, die taktil kaum erkennbar oder zu anderen Elementen nicht unterscheidbar sind. Grundlegend waren die Umsetzungen und die eingesetzten Gestaltungsmerkmale zu sehr visuell geprägt und damit zu fein, um sie taktil zu erfassen. Alle kumulierten Einzelbewertungen finden sich im Anhang (Abbildungen 19 und 20 ab Seite 294). Ergebnisse

### 5.3.2.2 Evaluation zur Prüfung taktiler Grafiken

In einer zweiten Evaluation soll untersucht werden, ob ein Kriterienkatalog als Werkzeug zur Qualitätssicherung im Rahmen einer Qualitätskontrolle ein geeignetes Mittel darstellen kann. Um dieser Frage nachzugehen, sollten mehrere Personen taktile Grafiken mit Hilfe des Kriterienkataloges für gute taktile Grafiken [\*PB16] untersuchen und bewerten. Aufgabe

Als zu untersuchende Grafiken wurden zwei taktile Umsetzungen aus der vorangegangenen Untersuchung ausgewählt – eine Schemazeichnung und ein Diagramm (siehe Abbildung 5.5). Diese sollten unter Anwendung des Kriterienkatalogs durch 19 Studierende der Informatik und ähnlicher Studiengänge (davon vier weiblich,  $\bar{x}$  24 Jahre alt, SD = 1,8 Jahre) auf Einhaltung der Qualitätsmerkmale und die Vermeidung von Grundsatzfehlern beurteilt werden. Fast alle Teilnehmenden gaben an, nur minimale und oft gar keine Erfahrung in der Erstellung taktiler Grafiken zu haben. Nur eine Person gab an, bereits taktile Grafiken erstellt zu haben. Materialien und Testpersonen

Zur Ausführung der Aufgabe standen den Teilnehmenden zwei Möglichkeiten der Bewertung zur Verfügung: Zum einen der Kriterienkatalog in seiner ausführlichen Variante als separates (PDF-)Dokument und ein Tabellen-Dokument (*MS Excel*), in das die Bewertungen eingetragen Testablauf

werden sollten. Zum anderen konnten die Bewertungen mittels des in Abschnitt 5.3.1 beschriebenen geführten Online-Dialogs durchgeführt werden. Welche Möglichkeit die Testpersonen nutzen wollten, blieb ihnen selbst überlassen. Insgesamt entschieden sich acht Personen für die Nutzung des Online-Dialogs. Vor der Bewertung wurden auch diese Testpersonen ausführlich in die Besonderheiten taktiler Medien und Darstellungen sowie den anzuwendenden Kriterienkatalog eingeführt. Die taktilen Grafiken wurden den Testpersonen sowohl als taktile Ausdrucke in einer Auflösung von 20 dpi als auch als digitale Bilddatei bereitgestellt. Die Bewertung selbst konnten die Teilnehmenden von zu Hause aus durchführen.

- Vergleichsbasis** Zur Ermittlung einer Vergleichsbewertung wurde die im Rahmen der vorangegangenen Untersuchung durchgeführte Expertenbewertung (weiblich Anfang 30) durch eine zweite Expertenbewertung (männlich Mitte 30) ergänzt. Diese beiden Bewertungen wurden gemittelt und stellen so die Vergleichsbasis für die folgenden Ergebnisse dar. Schon diese beiden Bewertungen unterscheiden sich in einigen Kriterien deutlich, stimmen aber in den meisten Bewertungen überein.
- Ergebnisse** Der Vergleich zwischen der gemittelten Basisbewertung und der Bewertungen der Testpersonen zeigt teilweise gravierende Unterschiede in einigen Einzelkriterien. Gemittelt ergeben sich beim Erfüllungsgrad<sup>6</sup> der Grafiken allerdings nur sehr geringe Unterschiede (Schemazeichnung: Experten = 83 %, SD = 0 %; Laien = 85 %, SD = 5 % – Diagramm: Experten = 74 %, SD = 2 %; Laien = 73 %, SD = 7 %). Das liegt daran, dass die Testpersonen einige Kriterien strenger bewerteten und andere wiederum deutlich toleranter sahen. In der Gesamtzahl mitteln sich diese dann zu einem vergleichbaren Erfüllungsgrad, obwohl sich die Bewertungen und die damit erfüllten oder abgelehnten Kriterien deutlich unterscheiden. Alle kumulierten Einzelbewertungen in direkter Gegenüberstellung zur gemittelten Basisbewertung finden sich im Anhang (Abbildungen 21 und 22 ab Seite 296).
- Bewertungen** Generell lässt sich sagen, dass gerade subjektive Einschätzungen, wie der Grad der Einfachheit einer Grafikumsetzung oder die Verfolgbarkeit beziehungsweise Erkennbarkeit von taktilen Strukturen ein gewisses Maß an Erfahrung voraussetzt, um diese Merkmale fundiert bewerten zu können. Gerade bei Fragestellungen wie gut etwas ist, bewerteten Laien deutlich strenger (Beispiele sind die *Einfachheit der Darstellung*, die *Verfolgbarkeit von Linien* oder die *Güte von Pfeildarstellungen*). Demgegenüber waren sie deutlich toleranter bei Fragestellungen, ob etwas gar nicht eingehalten wurde (beispielsweise ob *taktile Strukturen unterscheidbar* sind). Ebenso verhält es sich mit Kriterien, die konkrete Maße, Abstände oder Darstellungen fordern. Diese wurden viel zu häufig als bestanden gekennzeichnet, obwohl diese evident – auch auf den ausgegebenen taktilen Ausdruck nachvollziehbar – nicht eingehalten wurden.
- Fazit** Die durch Laien und Personen mit Expertise getätigten Bewertungen zeigen eindeutig, dass zusätzlich zu den Hilfsbeschreibungen der Kriterien praktische Erfahrung in der Einschätzung unerlässlich scheint. Die Anwendung oder Auswertung von konkreten Werten und Vorgaben wurde immer wieder missachtet. Dies lässt darauf schließen, dass der Aufwand, diese nachzumessen, nicht aufgebracht wurde. Ebenso verhält es sich mit der Einschätzung zur taktilen Gestaltung, welche oftmals nur durch praktisches Erfahren auf dem taktilen Medium bewertet werden kann. In vielen Fällen scheint hier bei der Bewertung, wie auch schon bei der Übertragung in eine taktile Darstellung, die visuelle Gestalt Grundlage der Tauglichkeitsbewertung gewesen zu sein – welche offensichtlich nicht adäquat anwendbar ist. Das genutzte Zugangswerkzeug zum Kriterienkatalog scheint keinen klar erkennbaren oder statistisch signifikanten Einfluss auf die Bewertungen selbst zu haben, wenngleich Teilnehmende berichteten, dass der geführte Dialog deutlich komfortabler ist, da man nicht

<sup>6</sup> wie viel Prozent der 40 Kriterien wurden erfüllt (nicht anwendbare Kriterien gelten als erfüllt)

zwischen drei Dokumenten (Prüfgrafik, Katalog und Bewertungsdokument) wechseln muss, sondern Kriterienbeschreibung und Bewertungsformular gemeinsam zur Verfügung stehen.

## 5.4 Fazit und Diskussion

Der aktuelle Transkriptionsprozess von Grafiken in eine zugängliche Version wird derzeit von einer Vielzahl an Personen mit unterschiedlicher Expertise sowie unter Anwendung diverser – teils zweckentfremdeter – Programme bewerkstelligt. Trotz der Aussage vieler Transkribierender, dass sie Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie die Verwendung von (internen) Richtlinien, durchführen, scheinen diese nach Aussage blinder Konsumierender teilweise nicht ausreichend zu sein.

Die Zusammenfassung von Wissen über gute und schlechte beziehungsweise zu vermeidende Praktiken in Kriterienkatalogen ist sinnvoll, um einen Wissensaustausch zu fördern und damit einen leichteren Einstieg für Laien in eine neue Domäne zu ermöglichen. Nichtsdestotrotz scheint das Arbeiten mit solchen Kriterienkatalogen nicht einfach zu sein. Der in diesem Kapitel präsentierte Online-Prüfdialog mit detaillierten Hilfestellungen und anschließender Auswertung soll dabei helfen, den Umgang mit solch komplexen Katalogen komfortabler zu gestalten.

Betrachtet man die Anwendung eines solchen Kataloges im Bereich der taktilen Grafikerstellung, so konnte in einer Evaluation gezeigt werden, dass Laien dennoch grundlegende Fehler begehen, obwohl diese explizit als zu vermeiden aufgeführt sind. In der Anwendung als Werkzeug zur Qualitätssicherung konnte in einer weiteren Evaluation gezeigt werden, dass Laien mithilfe eines solchen Kataloges zwar einige Fehler in taktilen Grafiken erkennen können, jedoch immer noch Fehler und Unzulänglichkeiten übersehen beziehungsweise falsch eingeschätzt werden.

Anwendungs-  
bereich

Die Anwendung, Einschätzung und Wertlegung zu Kriterien scheint somit nicht immer eindeutig für den Anwendenden. Kriterien erscheinen oft für den konkreten Fall nicht angemessen oder die Einschätzung ist stark subjektiv geprägt, weil keine absolut objektiven und messbaren Merkmale zur Verfügung stehen. Dies wiederum setzt an solchen Stellen Erfahrung oder Fachwissen voraus, um eine fundierte Wertung abgeben zu können. Gerade sehende Personen scheinen aber immer wieder den verfälschenden visuellen Eindruck als Basis ihrer Bewertung heranzuziehen.

Anwendung

Gerade Hilfsmittel zur Überprüfung von in Kriterien genannten Größen und Abständen wären notwendig. Die Überprüfung, ob ein solches Kriterium erfüllt ist, mag auf einem statischen taktilen Medium mittels Messwerkzeug noch einfach möglich sein. Die Anwendung auf eine digitale Bilddatei ist jedoch aufgrund von unterschiedlichen Auflösungen und möglicher Vergrößerungsfaktoren der Anzeige schwer anzuwenden. Hier könnte ein virtuelles Messwerkzeug oder eine Abstandslehre bei der Prüfung deutlich unterstützen. Darüber hinaus könnten einige Kriterien (semi-)automatisch abgeprüft werden, wenn das Prüfwerkzeug Zugriff auf die Zeichenobjekte bekommt.

fehlende  
Hilfsmittel

Abschließend bleibt festzuhalten, dass ein solcher Kriterienkatalog nur eine Hilfestellung darstellt. Während der praktischen Anwendung des Kriterienkataloges [\*PB16] wurde klar, dass einige Kriterien zu vage formuliert sind sowie konkrete Abmessungen ohne entsprechende Begründung durch Anwendende als oft nicht nachvollziehbar und übertrieben (groß) erachtet und dadurch missachtet werden. In einigen Fällen gibt es teilweise keine Alternative zur Missachtung eines Kriteriums, weil beispielsweise der verfügbare Platz oder andere Einschränkungen dies notwendig machen. Eine Grafik, die nicht alle Kriterien erfüllt, muss damit

Anwendbarkeit

auch in keinsten Weise absolut ungeeignet sein. Sie enthält einfach mehr Problemstellen, die ein intuitives und leichtes Erkunden erschweren können. Ob eine Grafik ihren Auftrag erfüllt oder nicht, können abschließend nur die Lesenden beantworten.

Für die in Forschungsfrage 1 – „*Wie kann die Qualität taktiler Grafiken verbessert werden?*“ – aufgestellte Hypothese 1 ergibt sich somit folgendes Fazit:

**Hypothese 1**

*Die Anwendung von Richtlinien kann nicht alle Fehler in taktilen Grafiken vermeiden.*

Die Hypothese kann bestätigt werden. Sowohl bei der Anwendung eines Kriterienkataloges bei der Erstellung von taktilen Grafiken als auch bei der Bewertung zur Einhaltung der Kriterien wurden Fehler eingebaut beziehungsweise übersehen. Hinzu kommt, dass einige Kriterien einer individuellen und subjektiven Einschätzung und Bewertung unterliegen.

# Kollaborative Erstellung taktiler Grafiken

---

FUJIYOSHI et al. sahen bereits Anfang der 2000er Jahre den Bedarf für ein Qualitätsmanagement für taktile Grafiken durch eine blinde Person [Fuj+08]. Später stellen sie mittels eines rudimentären, aber interaktiven Systems mit dynamisch taktiler Ausgabe ein Werkzeug zum kollaborativen Korrekturlesen von Grafiken durch eine blinde und eine sehende Person vor [Fuj+14]. FUJIYOSHI ET AL. stellen im Gegenzug aber auch fest, dass visuelle Grafiken blinder Menschen durch eine sehende Person Korrektur gelesen werden sollten [Fuj+18].

Es ist wichtig, die beratende Expertenrolle einer lektorierenden sehbehinderten Person von Anfang an zu kommunizieren. Dies soll sie auch davon befreien, sich selbst als Testobjekt zu sehen. Es fällt Menschen nämlich oftmals sehr viel leichter, potentielle Probleme anderer in Grafiken zu identifizieren und diese offen zu benennen, da sie sich dadurch auch nicht selbst offenbaren müssen, etwas nicht zu verstehen [Ken93, S. 63].

Die Möglichkeit, eine blinde oder hochgradig sehbehinderte Person in den gerade ablaufenden Zeichenprozess einer Grafik agil einzubinden, setzt in erster Linie einen geeigneten Zugang zur Grafik selbst voraus. Dies kann mittels dynamisch taktiler Anzeigegeräte (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) gelingen, wenn sie der Aufgabe angemessen sind. Die Eignung kann beispielsweise durch die ermöglichten Bildsetzzeiten oder die Größe der Darstellungsfläche eingeschränkt sein. Trotzdem könnte eine synchronisierte Darstellung in einem kollaborativen Zeichenarbeitsplatz einem sehenden Zeichner Zugang zur Expertise und zu Meinungen der potentiellen Zielgruppe der blinden Menschen erschließen.

Im Folgenden werden die Benutzungsschnittstellen eines solchen Zeichenarbeitsplatzes für beide Nutzergruppen (sehende wie auch stark sehbehinderte und blinde Menschen) sowie Hilfsmittel zur Kollaboration zwischen beiden Nutzergruppen näher beschrieben. Eine Evaluation mit acht Paaren von sehenden und blinden Teilnehmenden soll die **Hypothese 2** über positive Auswirkungen der Einbeziehung einer sehbehinderten Person in den Erstellungsprozess und damit die Effektivität des Konzeptes für einen solchen Arbeitsplatz untersuchen.

## 6.1 Der Tangram Zeichenarbeitsplatz

basiert auf



[\*BP14] und



[\*BPW15b]

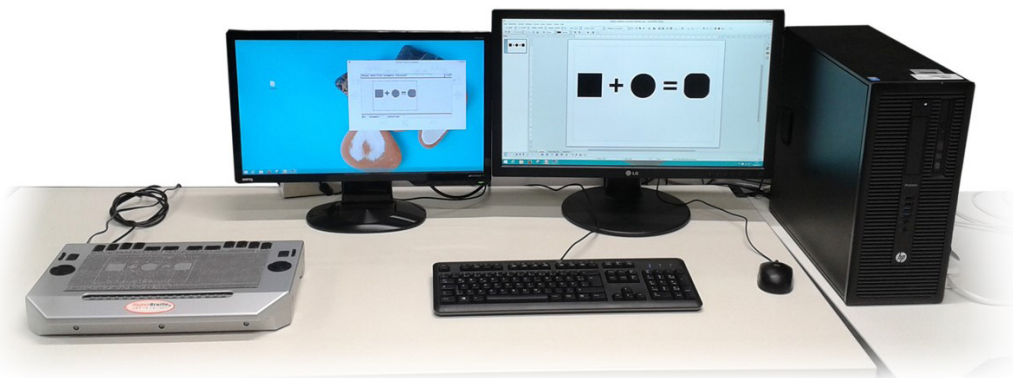
Zeichenanwen-  
dung LibreOffice  
DRAW

Als Namensgeber für den zugänglichen Zeichenarbeitsplatz wurde das Bildpuzzlespiel *Tangram* gewählt. *Tangram* ist ein chinesisches Legepuzzle, bei dem sieben geometrische Scheiben (unterschiedliche Dreiecke, Rauten, Quadrate) zu Formen zusammengelegt werden sollen<sup>1</sup>. Die Metapher dahinter, sich aus einfachen geometrischen Grundformen komplexe zweidimensionale Darstellungen zusammenzusetzen, entspricht im weitesten Sinne der Konstruktion von bildlichen Inhalten, wie sie für den taktilen Zeichenarbeitsplatz angedacht ist.

Als Basis für den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz wurde auf das Open Source Office-Paket *LibreOffice* zurückgegriffen. In diesem Programmpaket – bestehend aus Programmen zur Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Präsentation und vielen mehr – ist auch das Vektorzeichenprogramm *DRAW* enthalten. Dieses ist objektorientiert und bietet von sich aus bereits vielfältige Möglichkeiten, Zeichnungen in andere Dateiformate zu exportieren. Darüber hinaus besteht eine sehr gute Anbindung an grafikfähige taktile Prägedrucker der Firma *ViewPlus*<sup>2</sup>. Zudem wird *DRAW* bereits von einigen Institutionen zum Erstellen taktiler Grafiken genutzt [\*PBW14].

Erweiterung von  
DRAW

*LibreOffice* hat den Vorteil, dass es neben einer kostenfreien Lizenz, die auch den kommerziellen Einsatz erlaubt, offengelegte Programmierschnittstellen bereitstellt. Über diese lassen sich Programmfunktionen steuern oder neue hinzufügen. Die meisten Steuerelemente und Eingabemasken sollen zudem mit Screenreadern bedienbar sein. Allerdings gestaltet sich der Zugriff auf einige Programmfunktionen unkomfortabel, sodass auch für sehende Nutzende noch Hilfestellungen angeboten werden sollten. Dabei sollen in erster Linie die Erstellung audio-taktiler Grafiken effektiver gestaltet und Grafikautoren mit weiteren taktilen Gestaltungselementen unterstützt werden. Im Sinne der Zugänglichkeit für blinde Menschen – egal ob als Lektor oder später als selbständiger Autor – ist es nicht ausreichend, dass Menüs und Formular-Dialoge mit einem Screenreader bedienbar sind. Ein angemessener nicht-visueller Zugang zur Grafik selbst muss ebenso gewährleistet werden.

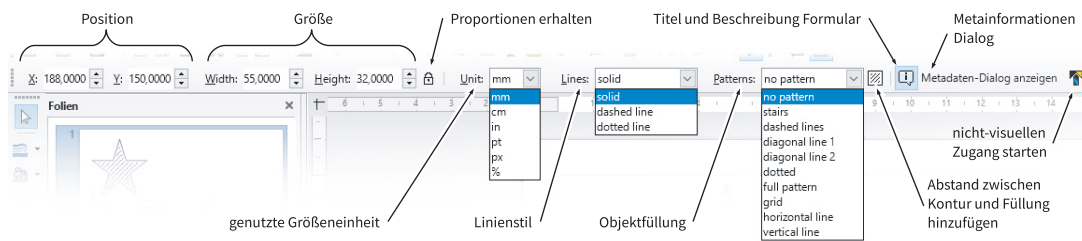


**Abbildung 6.1:** Der kollaborative Zeichenarbeitsplatz basierend auf *LibreOffice DRAW* mit nicht-visuellem Zugang für einen sehbehinderten Lektor mittels taktilen Flächendisplay (*metec BrailleDis 7200*)

<sup>1</sup> Nach einer asiatischen Legende soll ein Mönch seinen Schüler in die Welt hinausgeschickt haben, um die Schönheit und Vielfalt dieser zu erkennen und auf eine quadratische Tafel aus Keramik zu bannen. Dem Schüler fiel die Tafel nach kurzer Strecke herunter und sie zerbrach in sieben Scherben. Beim Versuch, die Tafel wieder zusammenzusetzen, bemerkte der Schüler, dass sich aus den Scherben eine Vielzahl an Formen und Figuren legen lassen. Er erkannte, dass sich die Schönheit und Vielfalt der Welt bereits in diesen sieben Scherben finden lässt.

<sup>2</sup> <https://viewplus.com/>





**Abbildung 6.2:** Tangram-Toolbar mit Hilfsmitteln für einen sehenden Grafikautor

Der kollaborative Zeichenarbeitsplatz besteht aus einem PC-Arbeitsplatz mit Maus und Tastatur sowie Bildschirm und Möglichkeiten der Audioausgabe, wie Lautsprecher oder Kopfhörer (siehe Abbildung 6.1). Für den taktilen Zugang ist ein grafikfähiges taktiles Display vorgesehen, welches bestenfalls großflächig ist und eine äquidistante Darstellung erlaubt. Sowohl ein sehender Grafikautor als auch ein sehbehinderter Lektor teilen sich denselben PC-Arbeitsplatz, benutzen jedoch unterschiedliche Aus- und Eingabemodalitäten. Dem sehenden Grafikautor stehen die visuellen Ausgaben auf dem Bildschirm sowie wenige Audioausgaben zur Verfügung. Zur Eingabe kann er auf Standard-(QWERTZ-)Tastatur und Maus, sowie andere angeschlossene spezielle Eingabeperipherie, wie beispielsweise ein Grafiktablet, zurückgreifen. Ein nicht-visueller Zugang zur Zeichnung und dem Zeichenprogramm erfolgt über das taktile Display sowie Audioausgaben. Eingaben sollen – soweit dies durch die angeschlossene Hardware möglich ist – ebenfalls hauptsächlich über die am taktilen Ausgabegerät verbauten Interaktionselemente, wie Hardwaretasten oder Berührungssensorik, erfolgen.

Aufbau des  
Lektoren-  
arbeitsplatzes

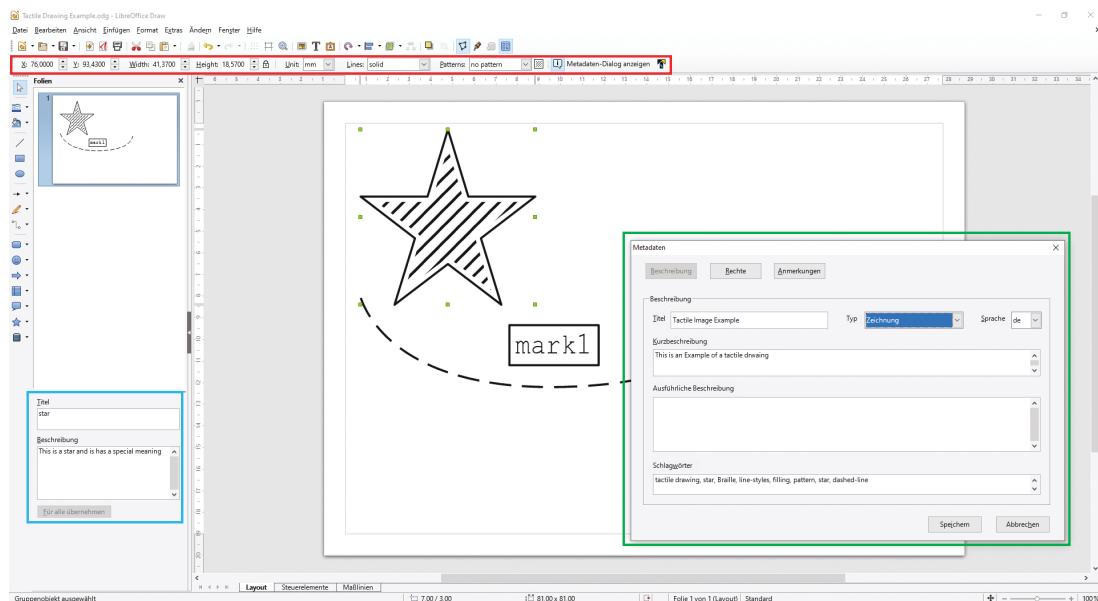
### 6.1.1 Unterstützung sehender Grafikautoren

Grundsätzlich wird dem Programm *DRAW* für einen sehenden Grafikautor, abgesehen von einem erweiterten SVG-Export, keine zusätzliche Funktionalität hinzugefügt. Die Steuerung und das Zeichnen selbst erfolgen über das normale visuelle Standardinterface der *DRAW*-Anwendung. Es werden lediglich Hilfsmittel zur leichteren Nutzung von Programmfunktionen bereitgestellt, sowie Hilfen zur Gestaltung von taktilen Grafiken angeboten. Dazu wurden dem Standardinterface von *DRAW* mehrere GUI-Elemente hinzugefügt, die einzeln ein- und ausblendbar sind. Als zentrales Element dient dabei eine Werkzeugleiste (*Tangram-Toolbar*), die sowohl Zugriff auf einige wichtige Objektinformationen erlaubt, wie auch Hilfs- und Steuerfunktionen bereitstellt (siehe Abbildung 6.2). Darunter fallen der direkte Zugriff auf Positions- und Größeninformationen zum aktuell angewählten Grafikobjekt sowie Möglichkeiten, Gestaltungsparameter des Objektes anzupassen. Erstere sind wichtig zur Einhaltung von Mindestabständen und -größen (vergleiche Abschnitt 5.2). Für Letzteres werden drei sehr gut erkenn- und verfolgbare Linienstile (durchgängig, gestrichelt, gepunktet) [\*BPW14; \*PB16] sowie neun evaluierte taktile Füllmuster für Formen angeboten, die untereinander nicht verwechselt werden können und auch für unterschiedliche Ausgabemedien (insbesondere taktile Flächendisplays mit einer Auflösung von ca. 10 dpi) geeignet sind [\*PBW17]. Ein einfaches Makro, das einen Abstand zwischen der Konturlinie und dem Füllmuster einer Form erzeugt, vervollständigt die Werkzeugpalette, die dem sehenden Grafikautor dabei helfen soll, eine gute Erkennbarkeit von taktilen Merkmalen zu gewährleisten.

Erweiterung der  
GUI von *DRAW*

Zur Erstellung von audio-taktilen Grafiken für die Nutzung auf verschiedenen Anzeigesystemen (siehe Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten*) sollen Formen oder Gruppen von Formen zusätzliche textuelle Annotationen erhalten können. Der Arbeitsplatz bietet dazu einen komfortablen Zugang zu einer zweistufigen textuellen Annotationsmöglich-

Titel- und Be-  
schreibungsdialog



**Abbildung 6.3:** Erweiterte grafische Benutzungsoberfläche der *LibreOffice DRAW* Anwendung mit *Tangram-Toolbar* (roter Rahmen), Titel- und Beschreibung-Formular (hellblauer Rahmen) sowie Metadaten-Dialogfenster (grüner Rahmen)

keit (Titel und Beschreibung) durch ein einfaches Formular (siehe Abbildung 6.3). Ebenso können detaillierte Metainformationen, wie Autor der Grafik, Originalquelle, Anmerkungen und Ähnliches, in einer Eingabemaske eingetragen werden, sodass sich der Archivierungsprozess vereinfachen lässt. Diese Metainformationen werden im Kopfbereich des Quelldokumentes der taktilen Grafik abgelegt.

Anpassung von Formatvorlagen Natürlich kann über die Werkzeugleiste auch der nicht-visuelle Zugang zur Zeichenanwendung gestartet werden. Bei der Initialisierung werden gleichzeitig auch Standardwerte für Formatvorlagen angepasst. So wird beispielsweise die Standardfüllung und Linienfarbe auf schwarz und die Standardlinienbreite auf gut erkennbare 1 mm eingestellt. Die Standardschrift wird auf eine spezielle Schriftart gesetzt, die Braille und Schwarzschrift für taktiler Drucker der Firma *ViewPlus* kombiniert. Die Schriftgröße wird zudem auf 40 pt festgelegt und es wird ein Mindestabstand zwischen Text und umgebender Umrandung definiert.

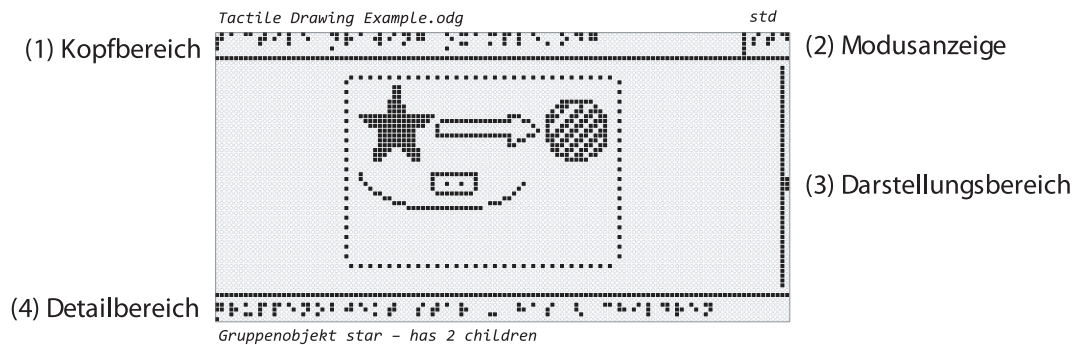
## 6.1.2 Nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle

Um einem blinden oder hochgradig sehbehinderten Menschen Zugang zur Zeichnung der Anwendung *DRAW* zu ermöglichen, sind zahlreiche technische Voraussetzungen zu schaffen, welche im Abschnitt 6.2 erläutert werden. In diesem Abschnitt soll die nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle sowie die dazugehörigen Interaktionsmechanismen vorgestellt werden.

### 6.1.2.1 Nicht-visuelle Ausgabe

Ausgabe-modalitäten Als Hauptausgabemedium dient ein taktiler Flächendisplay, auf dem sowohl grafische als auch textuelle Informationen in Braille ausgegeben werden. Unterstützt wird die taktiler Ausgabe durch Audioausgaben in Form von TTS und Tönen.

Aufteilung in Bereiche Die taktiler Ausgabefläche ist nach den Empfehlungen von PRESCHER in verschiedene Bereiche aufgeteilt und orientiert sich stark am Layout des *HyperReaders* aus dem *HyperBraille*-Projekt



**Abbildung 6.4:** Beispiel für die taktile Ausgabe der kollaborativen Zeichenanwendung und deren Aufteilung in vier Bereiche

(siehe Abschnitt 4.1). Dies soll Konsistenz zwischen verschiedenen Programmen für großflächige taktile Displays und damit leichteren Zugang und steilere Lernkurven zu solchen Anwendungen fördern. Abbildung 6.4 zeigt die Aufteilung der taktilen Darstellungsfläche in vier Bereiche nach PRESCHER [Pre16, S. 110]: (1) *Kopfbereich* – in dem beispielsweise der Dateiname der Zeichnung und die aktuelle Seite angezeigt wird, (2) *Modusanzeige* – in dem ein aus drei Braille-Buchstaben bestehendes Kürzel Hinweise über den aktuellen Programm- oder Interaktionsmodus gibt, (3) *Darstellungsbereich* – der den Hauptteil des Displays einnimmt und die zentralen Informationen präsentiert, sowie (4) *Detailbereich* – in diesem werden Status- und Systemmeldungen in Brailleschrift ausgegeben.

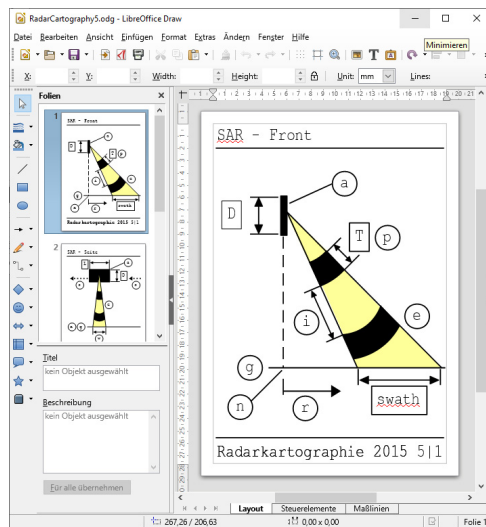
Die Bereiche, ausgenommen der *Darstellungsbereich*, können einzeln oder alle gemeinsam aus- und auch wieder eingeblendet werden, um die Darstellungsfläche besser an die Aufgabe anzupassen. Dies ist auch von besonderer Bedeutung, wenn die zur Verfügung stehende Anzeigefläche des verwendeten Ausgabegerätes selbst klein ist (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2 – *Großflächig-statische taktile Anzeigesysteme*). Die Bereiche sind durch durchgängige taktile Linien – mit einem Taxel Abstand zu jeder Seite – voneinander getrennt, um eine bessere Erkennbarkeit und Lesbarkeit des Inhalts zu gewährleisten und Verwechslungen oder Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Im *Darstellungsbereich* wird hauptsächlich eine grafisch-taktile Anzeige des Bildschirminhalts präsentiert. Ist die Zeichenanwendung *DRAW* nicht geöffnet oder das Anwendungsfenster minimiert, so wird ein Screenshot des Primärmonitors und aller darauf sichtbaren Inhalte angezeigt. Auf dem Bildschirm (also der GUI) angezeigte grafische Elemente werden durch Ansetzen einer Helligkeitsschwelle in eine binär-taktile Darstellung in reduzierter Auflösung überführt (vergleiche Abbildung 6.5). Dabei werden dunkle Stellen taktil erhaben dargestellt. Die angesetzte Helligkeitsschwelle kann frei verändert und jederzeit angepasst werden. Farben werden nicht gesondert behandelt oder dargestellt, sondern nur nach ihrem Helligkeitswert behandelt. Derzeit wird die Anzeige mit einer Frequenz von 10 Hz erneuert, soweit dies das angeschlossene Ausgabegerät erlaubt. Änderungen in der Darstellung werden damit annähernd in Echtzeit taktil präsentiert.

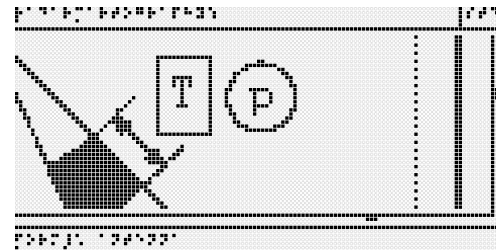
Anzeige im Darstellungsbereich

Ist die Zeichenanwendung *DRAW* geöffnet, wird nur der Zeichenbereich der Anwendung präsentiert. Menü- und Werkzeugleisten werden ebenso ignoriert wie Eingabemasken und Dialoge, die zur Steuerung mittels GUI notwendig sind. Das Zeichenblatt – beziehungsweise der auf dem Zeichenblatt zur Verfügung stehende Platz<sup>3</sup> – wird zusätzlich durch einen taktil gepunkteten Rahmen überblendet und damit zugänglich gemacht (siehe Abbildung 6.4).

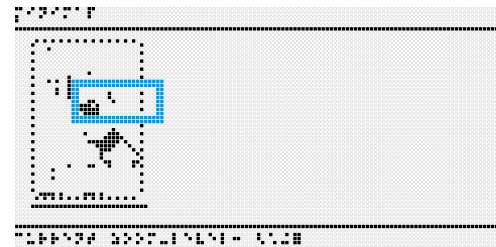
<sup>3</sup> Zeichenblatt abzüglich einzuhaltenden Abständen zum Rand



a) Beispielgrafik in LibreOffice DRAW



b) Taktile Detailansicht eines Ausschnittes in hoher Zoomstufe mit taktiler Schwarzschrift



c) Minimap-Ansicht für den gewählten Detailausschnitt mit blinkendem doppelten Rahmen

**Abbildung 6.5:** Taktile Detailansicht einer Beispielgrafik in großer Zoomstufe und Minimap-Überblick

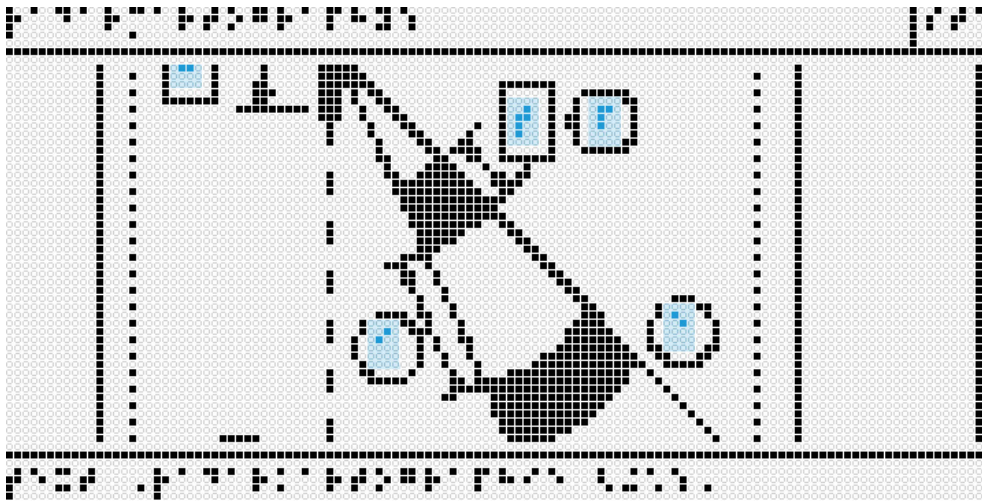
**Erkundung der taktilen Darstellung** Die präsentierten Bildschirm Inhalte können frei mittels Zooming und Panning erkundet werden. Dazu können am taktilen Ausgabegerät verbaute Hardwaretasten genutzt werden. Sowohl Zooming als auch Panning werden in zwei Schrittweiten angeboten – einem kleinen Schritt und einem großen Schritt, der etwa fünf kleinen Schritten entspricht.

**Zooming** Zoomstufen werden in Prozent zur Originalgröße der Grafik angegeben. Die Originalgröße einer Darstellung (100 %) errechnet sich aus der (Bildschirm-)Auflösung, welche im Betriebssystem abgelegt ist, der eingestellten Vergrößerungsstufe in der Anwendung DRAW und der Auflösung des Ausgabegerätes (circa 10 dpi). Diese Angabe soll Betrachtenden eine verlässliche Referenz zur Einschätzung von Größenverhältnissen und Relationen liefern. Die Darstellung in Zoomstufe 100 % soll somit Grafikelemente etwa so groß anzeigen, wie sie auf einem taktilen Ausdruck ausgegeben werden<sup>4</sup> – er wird darum auch „Print-Zoom“ genannt. Diese Anzeigeeinstellung ist jederzeit durch ein einfaches Tastenkommando einstellbar. Mit Hilfe einer weiteren speziellen Zoomstufe, die über eine Tastenkombination ausgelöst werden kann, wird der gesamte Zeichenbereich von DRAW im *Darstellungsbereich* angezeigt. Ein Panning ist damit nicht mehr notwendig und ein, wenn auch grober, Überblick über die Grafik kann erlangt werden.

Ist ein Element der Zeichnung zur Bearbeitung durch das nicht-visuelle Interface markiert, wird zum Vergrößern und Verkleinern das Fokuszoom-Konzept von PRESCHER angewendet [PW17]. Bei diesem Ansatz wird nicht in die Mitte des aktuellen Ausschnitts hineinvergrößert oder verkleinert. Stattdessen wird versucht, das derzeit fokussierte Element weiterhin in der neuen Anzeige zu belassen und es noch zentraler zu platzieren. Das Zentrum der neuen Ansicht verschiebt sich somit aus der Mitte hin zum Element von Interesse.

**Panning** Zur Erkundung von übergroßen Inhalten wurde für das Panning die Metapher des Schauglases bemüht. Das heißt, der sichtbare Ausschnitt wird über den Inhalt hinweg bewegt. Möchte man also sehen, was sich am rechten Rand außerhalb des sichtbaren Bereiches befindet,

<sup>4</sup> Voraussetzung hierfür ist, dass durch den Druckprozess selbst keine Vergrößerung oder Verkleinerung an der Darstellung mehr vorgenommen wird.



**Abbildung 6.6:** Brailleschrift-Substitution für Textelemente

dann verschiebt man diesen nach rechts. Taktile Positionsmarkierungen (Scrollbalken) setzen die Position des aktuell sichtbaren Ausschnittes in Relation zur Gesamtausdehnung der Darstellung. Über eine Minimap, wie sie ebenfalls bereits beim *HyperReader* Verwendung findet, kann der aktuell sichtbare Bereich als blinkender Rahmen in Relation zu einem Gesamtüberblick über die Grafik gesetzt (vergleiche Abbildung 6.5) und auch verändert werden.

Audioausgaben in Form von synthetischer Sprachausgabe und Signal- beziehungsweise Warntönen werden mit einer Braille-Text-Rückmeldung im *Detailbereich* kombiniert, um Nutzende über Erfolg oder Misserfolg jeder Aktion zu informieren. Zudem werden eventuell veränderte Werte und Eigenschaften nach einer Nutzeraktion als Braille-Text ausgegeben, sodass diese in Ruhe überprüft und bewertet werden können.

Audioausgaben

Wie bereits erwähnt, werden Textinhalte zunächst als Schwarzschrift und nicht als Braille in die Grafik eingefügt. Die Umwandlung in ein Braille-Punktmuster erfolgt erst durch den taktilen Prägedrucker selbst oder manuell vor der finalen Produktion<sup>5</sup>. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass auch in der taktilen Präsentation Textinhalte innerhalb einer Zeichnung als taktile Schwarzschrift dargestellt werden. Im *Print-Zoom* (Zoomlevel 100 %) kann jedoch die Ersetzung von erkannter Schwarzschrift in Braille aktiviert werden (siehe Abbildung 6.6). Dies ist nur in dieser einen Darstellung möglich, da Braille annähernd größeninvariant ist (vergleiche Abschnitt 3.1). Der Platzbedarf ist damit fest definiert und kann auch nur in dieser einen Zoomstufe gewährleistet werden. Darüber hinaus besteht nur so für den sehbehinderten Lektorierenden die Chance, den Einsatz und die Platzierung von Braille in der Grafik zu bewerten. Dies ist allerdings auch nur bedingt möglich, da sich die Braille-Substitution nicht immer genau auf die Originalposition in der Zeichnung legen lässt – sie muss sich natürlich in das Anzeigeraster des taktilen Ausgabegerätes einfügen. Des Weiteren muss zur besseren Lesbarkeit der Braille-Punkte das überblendete grafische Original verdeckt und verändert werden. Dazu wird um den Braille-Text ein zusätzlicher Rahmen aus abgesenkten Bildpunkten eingefügt, was nicht nur die Erkennbarkeit verbessern soll, sondern auch als Referenzrahmen zur Interpretation von Braillebuchstaben dient (vergleiche Abschnitt 3.1).

Anzeige von Text in Grafiken

<sup>5</sup> beispielsweise durch Wechsel der Schriftart auf einen Font, der direkt Braille anzeigt



### 6.1.2.2 Interaktion mit dem System

Bereits im vorhergehenden Abschnitt wurden einige grundlegende Interaktionen mit der taktilen Anzeige angesprochen. Es stehen blinden oder sehbehinderten Lektorierenden noch weitaus mehr Möglichkeiten zur Steuerung des Systems selbst wie auch zur Interaktion und Manipulation von Elementen der Grafik zur Verfügung. Dabei gibt es drei grundlegende Möglichkeiten zur Interaktion, welche teilweise auch redundant eingesetzt werden können.

- Eingabe-modalitäten
Zum Ersten stehen besonders wichtige oder oft verwendete Funktionen per Direktwahl bereit, die an Hardwaretasten oder Tastenkombinationen gebunden sind. Die Anzahl möglicher Funktionen, die so erreichbar sind, ist natürlich an die Anzahl der zur Verfügung stehenden Hardware-Schalter sowie deren ergonomische Kombination gebunden. Zum Zweiten werden Text-Menüs angeboten, die Zugriff auf Programmfunktionen mit einer zusätzlichen textuellen Beschreibung und Hilfetexten kombinieren. Zu guter Letzt können auch Gesten zur Auswahl oder Bedienung angewendet werden, sollte die angeschlossene Hardware eine entsprechende Sensorik bereitstellen.
- Gesten
Gerade das Auswählen von Menüeinträgen oder das Anwählen von Elementen der Zeichnung ist durch den Einsatz von Zeigegesten (**Tap**) besonders intuitiv. Dabei werden vor allem bei Interaktionen auf der Zeichnung zwei verschiedene Arten der Auswahl unterschieden: Zum einen das Anwählen, um Informationen zum Objekt zu erhalten (*Explore-by-Touch*), zum anderen das Auswählen, um dieses Element auszulösen oder zu manipulieren. Beide Funktionen können an unterschiedliche Tasten zum Starten eines Gestenmodus gebunden werden, was den *Midas-Touch Effekt* vermeiden soll (vergleiche Abschnitt 2.3.2).
- konfigurierbare Tasten und Tastenkombinationen
Kommandos aus einzelnen oder mehreren zu einer Kombination zusammengefassten Tasten sind ein sehr robustes Mittel zur Interaktion. Gerade wenn die eingesetzte Hardware eine (Braille)-Tastatur bereitstellt, lassen sich Tastenkombinationen an zugehörige Braille-Punkt-Kombinationen und damit zum Beispiel die Anfangsbuchstaben der auszulösenden Funktion binden, was deutliche Erleichterung beim Erlernen solcher Kombinationen hat. Diese Verbindung zwischen Braille-Buchstaben und verknüpfter Funktion ist jedoch von der Sprache sowie der angewendeten Braille-Kodierung abhängig, kann also nicht als universell angesehen werden. Der hier vorgestellte Arbeitsplatz bietet die Möglichkeit, alle Funktionen, die sich über einen eindeutigen Funktionsnamen identifizieren lassen, via XML-Konfiguration an eine beliebige Tastenkombination zu binden. Damit lassen sich nicht nur die voreingestellten Tastenkombinationen an eine andere Braille-Kodierung oder Sprache anpassen. Es können auch Eingabegeräte mit unterschiedlichster Anzahl und Anordnung von Tasten adressiert und die Bedienung darauf angepasst werden (siehe beispielsweise Tabelle 1 im Anhang ab Seite 288). Ebenso lässt sich so die Bedienung auf individuelle Wünsche<sup>6</sup>, Assoziationen<sup>7</sup>, Bedürfnisse<sup>8</sup> oder Können<sup>9</sup> anpassen.

Mit manchen Kontrollelementen einer Hardware scheinen viele Nutzende direkt eine Funktion zu assoziieren. Dazu zählen unter anderem Cursor-Tasten<sup>10</sup>, Kipp- und Wippschalter oder Ähnliches. Auch diese lassen sich über besagtes Konfigurationssystem an spezielle Funktionen koppeln, was eine intuitive Bedienung fördern kann. Die für diese Arbeit hauptsächlich eingesetzten taktilen Geräte der *BrailleDis* Serie (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) bieten eine Vielzahl solcher Bedienelemente, darunter eine mehrstufige Navigationsleiste, die für

<sup>6</sup> häufiger verwendete Funktionen bekommen einfachere Tasten zugewiesen als selten verwendete

<sup>7</sup> unterschiedliche Funktionsbezeichnungen führen zu unterschiedlich assoziierten Anfangsbuchstaben

<sup>8</sup> links- oder rechtshändige Bedienung

<sup>9</sup> mehrfachbehinderte Menschen können evtl. nur eingeschränkt Tastenkombinationen betätigen

<sup>10</sup> Richtungstasten

Panning-Operationen eingesetzt wird, Wippschalter, die für Zooming-Operationen verwendet werden, und Cursor-Kreuze, welche zur Navigation, Auswahl und Manipulation im zweidimensionalen Raum angewendet werden. Stehen solche Bedienelemente nicht zur Verfügung, kann die Bedienung des hier vorgestellten Systems unkomfortabler werden.

Gerade für selten genutzte Funktionen oder solche, die einer näheren Erklärung bedürfen, erscheinen Text-Menüs besonders geeignet. Auch der kollaborative Zeichenarbeitsplatz setzt für spezielle Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten auf den Einsatz von Text-Menüs. Diese werden als Braille-Text-Listen im *Darstellungsbereich* des taktilen Displays präsentiert und können mittels Tasten oder Gesten bedient werden. Markierte Einträge werden zudem durch TTS vorgelesen und es können Hilfetexte zu den Funktionen in Braille und Audio aufgerufen werden. Menüs können verschachtelt werden, um Funktionen zu gruppieren und die Anzahl an möglichen Listeneinträgen zu reduzieren. Eine Pfadnavigation (*Breadcrumb*) im *Kopfbereich* gibt Hinweise zur aktuellen Auswahltiefe und dem gewählten Pfad. Neben klassischen Einträgen, die direkt an eine Funktion gebunden sind, können auch andere Steuerelemente zur Eingabe von Informationen eingebunden werden (siehe Abschnitt 6.2.1.4). Text-Menüs

Menüs werden im Lektorenarbeitsplatz derzeit hauptsächlich für Funktionen zur Steuerung der Anwendung *DRAW*<sup>11</sup> sowie zum Vornehmen von individuellen Einstellungen eingesetzt. Unter anderem lassen sich so die Geschwindigkeit und Lautstärke der Sprachausgabe festlegen. Die Systemsprache der Benutzungsschnittstelle kann nicht über das Menü eingestellt werden. Sie orientiert sich an der Spracheinstellung des Betriebssystems. Derzeit stehen jedoch nur Deutsch und Englisch als Sprachen zur Verfügung. Andere Übersetzungen lassen sich durch XML-Übersetzungstabellen einfach erweitern.

### 6.1.2.3 Manipulation von Grafiken

Der kollaborative Zeichenarbeitsplatz soll einer sehbehinderten Person nicht nur den lesenden Zugang zu bestehenden oder gerade entstehenden Grafiken ermöglichen. Es soll ebenfalls möglich sein, direkt Änderungen an der Zeichnung vorzunehmen. Auf diese Weise können blinde oder sehbehinderte Menschen Änderungsvorschläge direkt selbst ausprobieren und umsetzen oder im Sinne einer Arbeitsteilung Aufgaben übernehmen. So wird aus einem passiv eingebundenen und rein beratenden Gutachter ein aktiv partizipierender Lektor.

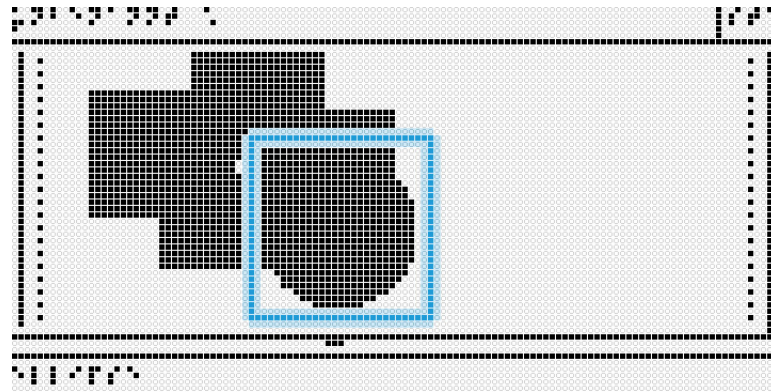
Um Elemente einer Grafik bearbeiten zu können, müssen diese zuerst einmal zur Bearbeitung ausgewählt, also fokussiert werden. Dazu stehen über die nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle zwei Wege zur Verfügung. Zum einen können einzelne Grafikelemente durch eine Zeigegeste (**Tap**) markiert werden. Dies hat jedoch den Nachteil, dass die zur Verfügung stehenden Programmierschnittstellen (siehe Abschnitt 6.2.2) derzeit keine präzise Auswahl von Formen nach ihrer Gestalt, sondern nur nach ihrer Bounding Box erlauben. Zudem ist die Auswahl via Geste nur auf Eingabegeräten mit entsprechender Sensorik möglich. Bearbeitungsfokus

Als weiterer redundanter Weg zur Fokussierung ist deshalb auch ein deterministischer Explorationsprozess installiert. Dieser wird durch Tastenkommandos gesteuert. Dabei wird das DOM der aktuellen Seite – was dem Szenengraphen der Zeichnung entspricht – durchlaufen. Es kann sowohl vorwärts wie auch rückwärts navigiert werden sowie in gruppierende Strukturen eingetaucht (Kinder) und daraus wieder aufgetaucht (Eltern) werden. Die Reihenfolge im Szenengraph richtet sich nach dem Zeitpunkt der Erstellung – ein früher erstelltes Objekt wird auch zuerst bei der deterministischen Exploration erreicht. Die Exploration erfolgt für

---

<sup>11</sup> Speichern, Seitennavigation, ect.





**Abbildung 6.7:** Taktile Markierung des Bearbeitungsfokus für das nicht-visuelle Interface

jeden Teilbaum<sup>12</sup> des DOMs zyklisch, startet also wieder beim ersten Element, wenn das letzte erreicht wurde. Durch diesen Navigationsmechanismus können alle in einer Zeichnung enthaltenen Elemente erreicht werden, egal ob sie sehr klein, verborgen oder verdeckt sind.

**Fokusmarkierung** Ein angewähltes Element wird durch einen blinkenden taktilen Rahmen markiert. Der Rahmen entspricht der Bounding Box des Elementes und besteht aus einer durchgängigen Reihe von Taxeln<sup>13</sup>, die durch jeweils einen Rahmen von abgesenkten Bildpunkten innen und außen<sup>13</sup> von umgebenden Elementen abgegrenzt wird (siehe Abbildung 6.7). Die Frequenz des Blinkens beträgt rund 1,7 Hz<sup>14</sup>. Nutzende gaben an, dass ihnen neben der rein taktilen Wahrnehmbarkeit der blinkenden Markierung auch das mechanische Geräusch des Anzeigegerätes beim Blinken einen guten auditiven Hinweis auf die Existenz sowie die grobe Verortung einer Markierung ermöglicht [Pre16, S. 127]. Der blinkende Markierungsrahmen ist durch seine Darstellung aus positiven und negativen Rahmen gut vor unterschiedlichen Hintergründen zu erkennen. Eine Minimalgröße von vier Bildpunkten<sup>15</sup> erlaubt auch das Auffinden von Markierungen extrem kleiner Elemente. Die Markierung selbst maskiert jedoch Teile der Zeichnung oder stört die Erkundung und Erkennung. Es ist darum zwingend notwendig, die Markierung einfach mittels Tastendruck ab- und wieder anschalten zu können.

**Manipulation von Elementen** Ist ein Element einer Zeichnung fokussiert, können nicht nur Informationen, wie eine eventuell vorhandene textuelle Annotation abgerufen und bearbeitet werden, sondern auch Änderungen an der Gestalt vorgenommen werden. Dazu haben Nutzende des nicht-visuellen Interfaces Zugriff auf fünf grundlegende Merkmale / Eigenschaften der taktilen Gestaltung:

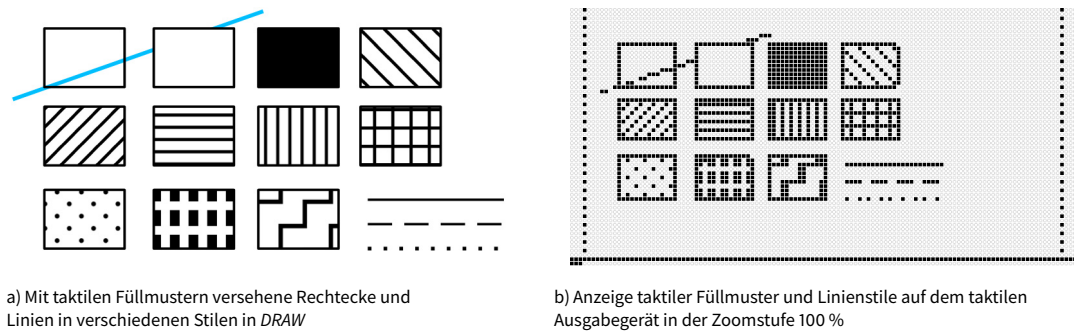
1. **Position:** Die räumliche Positionierung des Elements auf dem zweidimensionalen Zeichenblatt. Die Schrittweite der jeweiligen Manipulation ist dabei an die angewendete Vergrößerung und Auflösung des Ausgabegerätes gebunden, sodass eine Änderung von mindestens einem Bildpunkt wahrnehmbar wird.
2. **Größe:** Die horizontale und vertikale Ausdehnung eines Elementes. Auch hier ist die Schrittweite an die Darstellungsgröße gebunden und die Veränderung erfolgt immer symmetrisch zu beiden Seiten einer Form gleichzeitig.
3. **Rotation:** Die Drehung eines Elementes.

<sup>12</sup> Seiten einer Zeichnung oder Kinder einer Gruppe

<sup>13</sup> 1 Taxel Padding + 1 Taxel Margin

<sup>14</sup> Änderung der Rahmenanzeige alle 300 Millisekunden

<sup>15</sup> Kantenlänge des erhabenen Rahmens

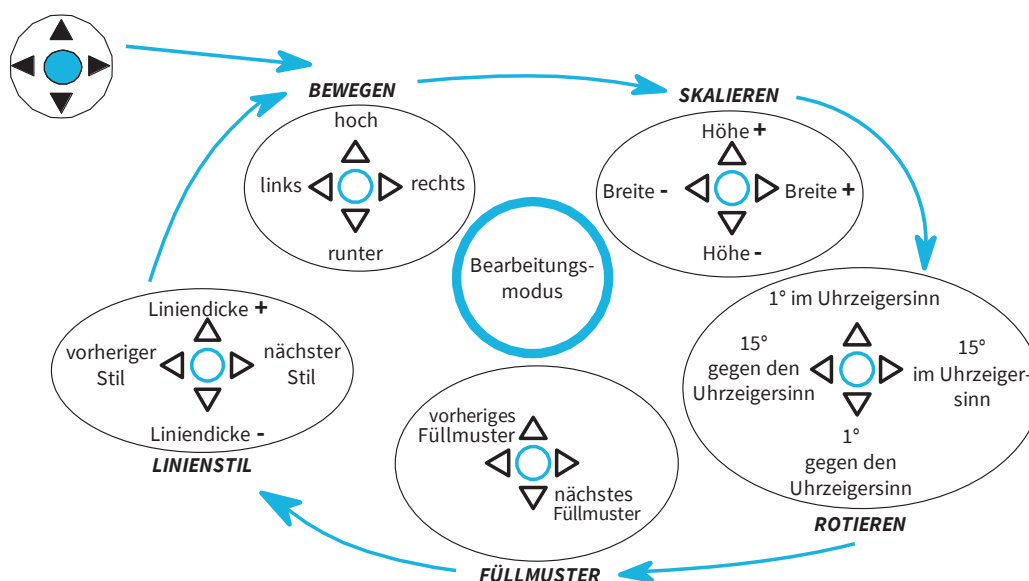


**Abbildung 6.8:** Taktile Füllmuster und Linienstile, die durch den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz bereitgestellt werden

4. **Konturlinie:** Muster und Stärke der (Außen-)Linie(n) einer Form. Es kann aus drei Linienstilen gewählt werden (durchgängig, gepunktet, gestrichelt – vergleiche Abschnitt 6.1.1 und Abbildung 6.8).
5. **Flächenfüllung:** Taktiler Muster, mit dem die eingeschlossene Fläche einer Form gefüllt ist. Es kann aus einer Liste von insgesamt elf taktilen Füllmustern gewählt werden: durchsichtig, weiß, schwarz, sowie acht weitere evaluierte taktile Füllmuster (vergleiche Abschnitt 6.1.1 und Abbildung 6.8).

Der Zugriff auf die Anpassungen der benannten Merkmalsgruppen erfolgt über spezielle Modi. Dazu wird das System in einen bestimmten Bearbeitungsmodus versetzt, in welchem einfache Tastenbefehle die entsprechende Manipulation ausführen. Bei den für diese Arbeit hauptsächlich eingesetzten Geräten der *BrailleDis* Serie (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) wurde hierzu eines der Fünf-Tasten-Cursor-Kreuze verwendet, wobei der mittlere Knopf den Modus wählt beziehungsweise wechselt und die Richtungstasten eine intuitive Manipulation der Einzelwerte erlauben (vergleiche Abbildung 6.9). Dabei kann ein bimanuales Arbeiten unterstützt werden. Das heißt, die mit der einen Hand initiierte Veränderung kann mit der zweiten Hand auf dem taktilen Display unmittelbar nachvollzogen werden.

Rotationsmenü für Bearbeitungsmodi



**Abbildung 6.9:** Auswahl der Bearbeitungsmodi im kollaborativen Zeichenarbeitsplatz mittels Rotationsmenü

Die Auswahl des Bearbeitungsmodus erfolgt im Rotationssystem in einem Menü. Das heißt, man wechselt durch Drücken der mittleren Taste zum nächsten Modus in einer seriellen Reihenfolge, welche am Ende wieder von vorne beginnt. So kann mittels nur einer Taste eine Vielzahl an Funktionen angeboten werden. Mittels Sprachausgabe werden sowohl der (neu) gewählte Modus als auch die Veränderungen an den entsprechenden Werten auditiv ausgegeben. Zudem besteht ein textueller Zugang zu den entsprechenden Objekteigenschaften im *Detailbereich* der taktilen Ausgabefläche.

**weitere Manipulationsmöglichkeiten** Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Elementen oder Gruppen eine zweistufige textuelle Beschreibung<sup>16</sup> hinzuzufügen beziehungsweise eine bestehende zu verändern. Dazu kann beispielsweise auf eine an der Hardware verbaute Braille-Tastatur zurückgegriffen werden. Wird die Standard-(QWERTZ-)Tastatur nicht im Zuge einer Kollaboration durch eine sehende Person belegt, kann auch diese zur Texteingabe herangezogen werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Elemente zu Gruppen zusammenzufassen und auch zu löschen. Alle Manipulationen werden in die globale Veränderungshistorie von *DRAW* eingefügt und stehen damit für **Undo** / **Redo** Operationen zur Verfügung.

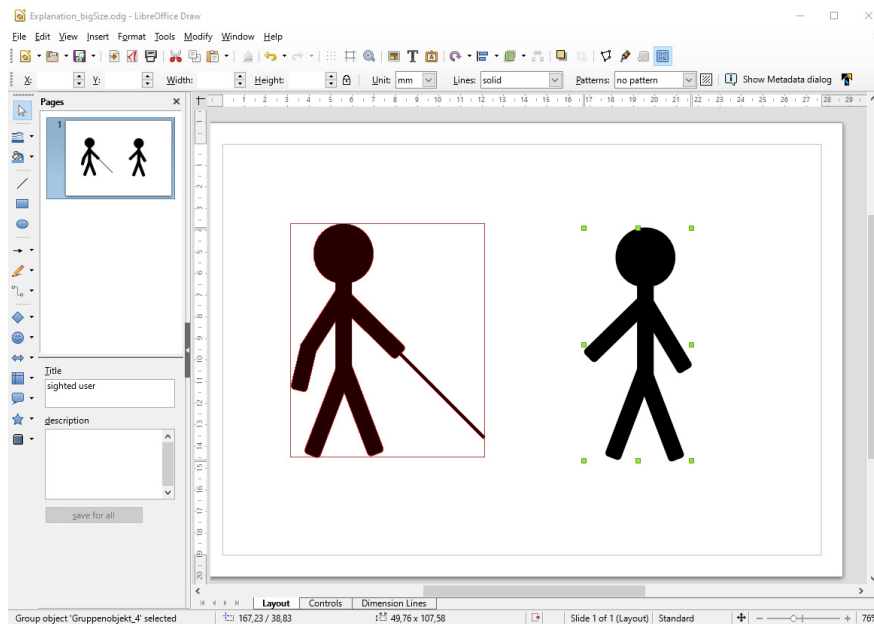
### 6.1.3 Unterstützung der Kollaboration zwischen sehenden und sehbehinderten Benutzern

**GUI- und nicht-visueller Interaktionsfokus** Zur Realisierung eines kollaborativen Arbeitsprozesses ist es nötig, dass jeder Teilnehmende parallel Aufgaben bearbeiten und unabhängig mit dem System interagieren kann. Da sich der sehende Grafikautor und der sehbehinderte Lektor jedoch denselben PC-Arbeitsplatz teilen, muss die Parallelität virtuell geschaffen werden. Dazu wird dem Nutzenden der nicht-visuellen Benutzungsschnittstelle ein zusätzlicher interner Fokus bereitgestellt, der unabhängig vom Anwendungsfokus geführt werden kann – ähnlich einem Accessibility-Fokus (vergleiche Abschnitt 2.4). Der Anwendungsfokus selbst, der sich meist in der GUI manifestiert und durch Maus und Standard-(QWERTZ-)Tastatur gesetzt wird, wird durch den sehenden Grafikautor gesteuert.

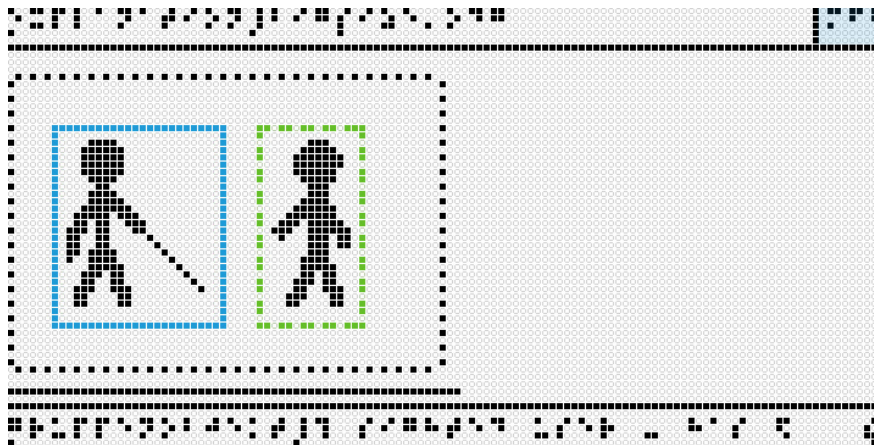
**Fokus-Awareness in der GUI** Nach den Erkenntnissen aus Abschnitt 2.5.2 – *Empfehlungen für kollaborative Systeme für sehende und blinde Menschen* ist es nötig, dass sich alle Beteiligten eines kollaborativen Prozesses über die Sichtweisen, mögliche Einschränkungen und das aktuelle Objekt von Interesse beziehungsweise Bearbeitungsobjekt bewusst sind (Fokus-Awareness). Zur Gewährleistung des Letzteren werden beiden Teilnehmenden Änderungen am aktuellen Fokus des jeweils anderen zugänglich gemacht. Wechselt der interne nicht-visuelle Fokus, so wird dies unmittelbar in der GUI durch eine kurzzeitige visuelle Überlagerung des neu fokussierten Elementes angezeigt. Dazu blinkt die zur Bearbeitung markierte Form als rot eingefärbte Kopie dreimal kurz auf (vergleiche Abbildung 6.10 a). Dies signalisiert, dass dieses Element nun durch das nicht-visuelle Interface bearbeitet werden kann und zur Vermeidung von Konflikten, beispielsweise durch das Überschreiben von Änderungen, nicht parallel bearbeitet werden sollte. Eine harte Sperrung des Elements für das andere Interface findet nicht statt, da eine solche Sperre zur Blockade von kollaborativen Prozessen führen könnte. Diese visuelle Hervorhebung kann jederzeit erneut über das nicht-visuelle Interface initiiert werden. So kann eine sehbehinderte Person beispielsweise die Aufmerksamkeit seines Gegenübers auf ein spezielles Element lenken. Die Überlagerung selbst beeinträchtigt die Nutzung der GUI nicht.

**nicht-visuelle Fokus-Awareness** Natürlich stehen auch auf Seiten des nicht-visuellen Zugangs Informationen über das aktuell fokussierte Element in der GUI zur Verfügung. Für eine vollautomatische Verfolgung mit allen

<sup>16</sup> Titel und Beschreibung (vergleiche Abschnitt 6.1.1)



a) visuelle Darstellung des internen Fokus (dunkelrote Überlagerung links) und des GUI-Fokus (hellgrüne Eckpunkte rechts)

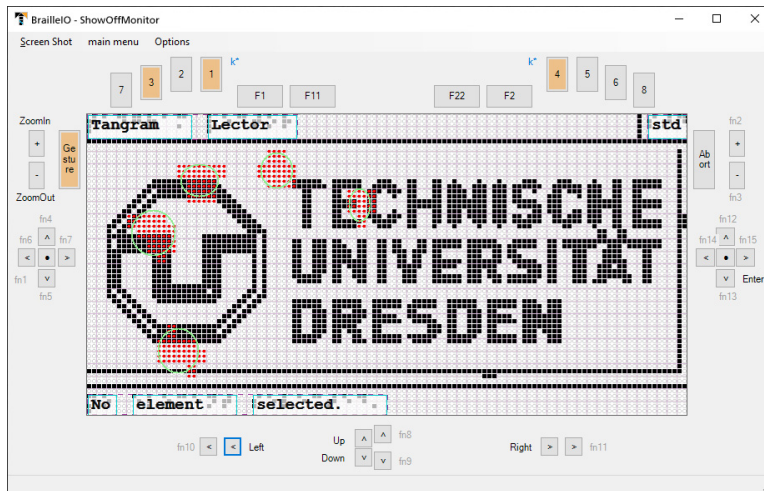


b) taktile Darstellung des internen Fokus (durchgängiger Rahmen links) und des GUI-Fokus (gestrichelter Rahmen rechts)

**Abbildung 6.10:** Foki im kollaborativen Zeichenarbeitsplatz und deren unterschiedliche Darstellungen

Wechseln in Echtzeit kann das System in einen speziellen Fokus-Verfolgungsmodus versetzt werden. Dieser wird Nutzenden auch in der *Modusanzeige* am oberen rechten Rand der taktilen Ausgabe kenntlich gemacht (vergleiche Abschnitt 6.1.2.1 und Abbildung 6.10 b<sup>17</sup>). Dabei wird nicht nur das aktuell in der GUI gewählte Element auditiv mit Art, Name und eventuellem Textinhalt beschrieben, sondern das Objekt wird auch direkt auf der taktilen Ausgabe im *Darstellungsbereich* in den sichtbaren Bereich verschoben. Dazu notwendige Panning-Operationen werden automatisch ausgeführt. Dieser Modus eignet sich somit hauptsächlich für Anwendungsfälle, in denen tatsächlich jede Änderung nachvollzogen werden soll oder für ein geführtes Explorationsszenario, indem eine sehende Person aktiv durch unterschiedliche Stationen einer Zeichnung führt. Das aktuell fokussierte Element in der GUI wird ähnlich dem internen Fokus taktil durch einen blinkenden Rahmen präsentiert, der allerdings nicht durchgängig, sondern gestrichelt dargestellt wird (siehe Abbildung 6.10 b).

<sup>17</sup> Braille-Text **mff** = „mouse-focus following“

**Abbildung 6.11:**

*ShowOffAdapter* – virtuelles taktiler Aus- und Eingabegerät zum Debugging; alias *Debug-Monitor*. Im gezeigten Beispiel werden gerade Hardwareevents eines angeschlossenen *metec BrailleDis7200* gespiegelt: aktuell gedrückte Tasten (orange), berührte Pins (rot), extrahierte Berührungen / Blobs (grüne Kreise). Zudem werden Schwarzschriftübersetzungen für taktiler Brailleschrift eingeblendet (hellblaue Kästen) und es steht ein Menü zur Steuerung der Anwendung zur Verfügung.

Erfahrungsgemäß wechseln sehende Grafikautoren beim Erstellen und Bearbeiten von Zeichnungen sehr oft das fokussierte Element. Ein solcher hochfrequenter Wechsel und die damit einhergehende Informationsschwemme würden zu einer Überforderung des sehbehinderten Gegenübers führen. Im Gegensatz zur visuellen Markierung des internen Fokus in der GUI, wird nicht automatisch jede Änderung des GUI-Fokus über das nicht-visuelle Interface ausgegeben. Dennoch kann nach Bedarf der aktuelle GUI-Fokus abgerufen werden. Dazu kann beispielsweise der besagte Fokusverfolgungsmodus kurzzeitig aktiviert werden, um sich des fokussierten Elementes in der GUI gewahr zu werden. Darüber hinaus kann der interne Fokus mit dem GUI-Fokus synchronisiert werden. Dies ist in beide Richtungen möglich – so kann der interne Fokus auf den GUI-Fokus gesetzt werden und umgekehrt.

#### Debug-Monitor für taktile Benutzungs- schnittstelle

Als eines der wertvollsten Werkzeuge stellte sich im Laufe der ab Abschnitt 6.3 vorgestellten praktischen Anwendungsszenarien der *Debug-Monitor ShowOffAdapter* heraus (siehe Abschnitt 6.2.1.1 und Abbildung 6.11). Dieses zusätzliche GUI-Fenster visualisiert die Aus- und Eingaben des taktilen Interfaces. Dadurch wird eine sehende Person in die Lage versetzt, die Sicht- und Darstellungsweise für eine blinde Person nachzuvollziehen. Dazu kann einerseits überprüft werden, wie sich eine hochauflösende, farbige (Vektor-)Grafik binär-taktil in einer sehr niedrigen Auflösung von nur noch 10 dpi darstellt, was zur Kontrolle der eigenen gestalterischen Arbeit dienen kann. Zum anderen kann Zugriff auf die Braille-Übersetzungen erlangt<sup>18</sup> (vergleiche Abschnitt 6.1.2.1) sowie aktuelle Interaktionen des sehbehinderten Partners<sup>19</sup> beobachtet werden. Dies versetzt sehende Teilnehmende in die Lage, die Einschränkungen in der Darstellung und auch Wahrnehmung einer blinden Person besser zu verstehen und damit besser auf die Bedürfnisse des Gegenübers oder der Zielgruppe einzugehen (vergleiche Abschnitt 2.5).

Gerade dieser einfache und unmittelbare Einblick in den eingeschränkten Wahrnehmungs- und Interaktionsraum ermöglicht eine deutlich bessere Kollaboration basierend auf Verständnis und Rücksicht. Zudem fällt es beiden Beteiligten deutlich leichter, sich über Elemente einer Grafik zu unterhalten, da sehende Teilnehmende über die aktuelle (Ansichts-)Position von blinden Teilnehmenden in der Zeichnung informiert werden und somit entweder führend und anleitend eingreifen oder Bearbeitungskonflikte aktiv vermeiden können. Außerdem besteht über das GUI-Interface auch die Möglichkeit, das nicht-visuelle Interface selbst zu steuern – auch mittels eines Standard-Screenreaders.

<sup>18</sup> In der GUI werden Texte normalerweise in Schwarzschrift dargestellt (vergleiche Abschnitt 6.1.1).

<sup>19</sup> Berührungen auf dem taktilen Display sowie Tasteninteraktionen

## 6.2 Technische Umsetzung

Die in den vorhergehenden Abschnitten präsentierten taktilen Ausgaben sind das Ergebnis eines komplexen technischen Unterbaus. Ebenso verhält es sich mit den zugrundeliegenden Informationsquellen zur Realisierung der Funktionen für sehende und sehbehinderte Nutzende. Diese technischen Grundlagen zur praktischen Realisierung sollen in diesem Abschnitt offengelegt werden. Das gesamte Programm ist in **C#** geschrieben, nutzt das **.Net**-Framework ab Version 4.1 sowie Teile der *Windows-API*. Der *Tangram* Arbeitsplatz ist somit hauptsächlich auf das *Windows*-Betriebssystem ausgerichtet.

### 6.2.1 Hardwareabstraktionsframework – BrailleIO

Aus Abschnitt 3.2.2.2 – *Großflächig-statische taktile Anzeigesysteme* ist zu entnehmen, dass eine taktile Ausgabe auf vielen derzeit eingesetzten und zukünftigen Geräten möglich ist. Die Nutzung von großflächigen taktilen Displays scheint für die Arbeit mit Grafiken besonders gut geeignet zu sein. Insbesondere sind Geräte mit äquidistanter Anzeige solchen mit Braille-Darstellung vorzuziehen, da sie keine zusätzliche Verzerrung in die Darstellung einbringen. Die Fülle an möglichen verfügbaren Ausgabegeräten, die oftmals gleichzeitig auch als Eingabegeräte genutzt werden können, ist groß. Derzeit existiert jedoch noch kein standardisiertes Verfahren, um diese Geräte durch Software anzusprechen. Alle Geräte setzen auf proprietäre Lösungen zur Ansteuerung. Will man also ein Programm bereitstellen, das möglichst viele solcher Geräte adressiert, ist eine Abstraktion der Hardware auf einen gemeinsamen Nenner notwendig – eine sogenannte *Middleware*. Diese kann dann für die proprietären Schnittstellen implementiert werden und dient als Vermittlerschicht zwischen den abstrahierten und standardisierten Schnittstellen der Software und den gerätespezifischen Schnittstellen der Hardware.

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Framework *BrailleIO*<sup>20</sup> stellt eine solche Middleware bereit. Darüber hinaus bietet es Entwicklern weitere Unterstützung beim Erstellen von Anwendungen für taktile äquidistante und matrix-basierte Flächendisplays (alias Stiftplatten) [sKuh13]. Insbesondere Aufgaben des Renderings und der Auswertung von Nutzerinteraktionen (Tastekommandos oder Gesteninteraktion) sollen ebenso komfortabel mit vorbereiteten Lösungen für Entwickler und Anwender bereitgestellt werden.

Für eine aufgabenangemessene Präsentation von Informationen auf flächig-taktilen Displays empfiehlt PRESCHER die Aufteilung in spezialisierte disjunkte Bereiche [PWS10; Pre16, S. 156]. Das *BrailleIO*-Framework soll eine solche Aufteilung der Darstellungsfläche in mehrere unabhängige Regionen mit unterschiedlichen Inhalten ermöglichen.

Dementsprechend setzt sich das Framework aus zwei grundlegenden Schichten zusammen (vergleiche Abbildung 6.12). Die erste behandelt die Abstraktion von Hardware, sodass Anwendungsentwickler mit festgelegten Schnittstellen unterschiedliche taktile Flächendisplays ansprechen und nutzen können. Die zweite Schicht stellt Hilfen zur Darstellung von Inhalten als taktile binäre Punktmatrizen bereit. Verbunden werden beide Schichten durch einen globalen Vermittler, der gleichzeitig als zentraler Einstiegspunkt ins Framework dient. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten und Aufgaben näher erläutert.

basiert auf



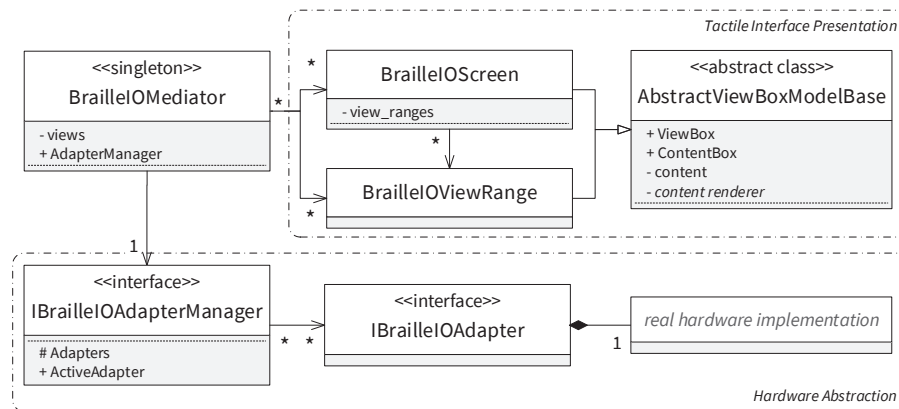
[\*Bor14]

weitergehende  
Entwickler-  
unterstützung

Informations-  
präsentation

grundlegender  
Aufbau des  
Frameworks

<sup>20</sup> *github* / BrailleIO – A 2D tactile pin-matrix device abstraction framework –  
Url: <https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/BrailleIO>

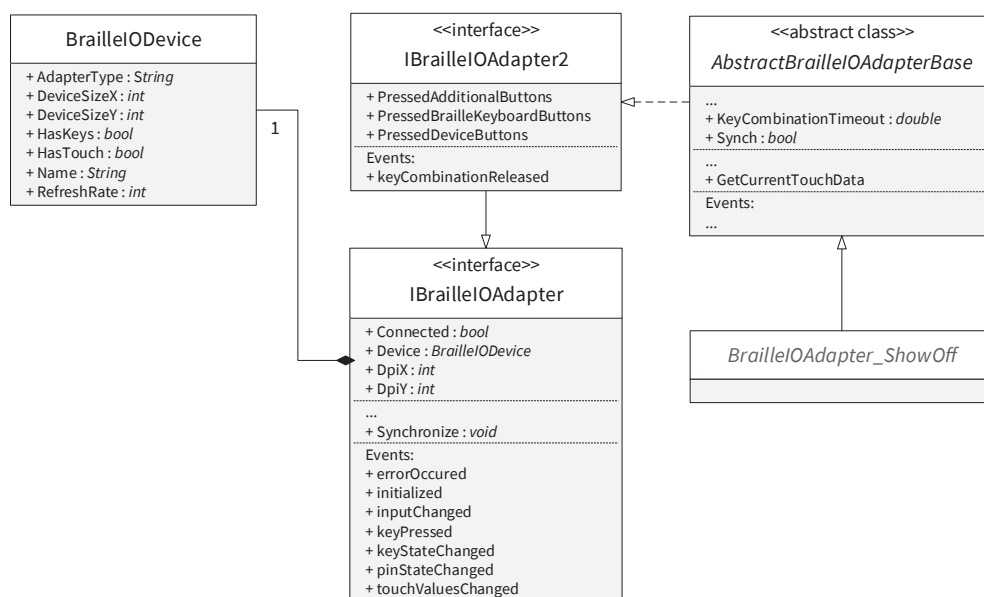


**Abbildung 6.12:** Teilung des *BrailleIO*-Frameworks in die zwei Schichten zur Hardwareabstraktion und zur Darstellung von Inhalten verbunden durch den zentralen Vermittler *BrailleIOMediator*

### 6.2.1.1 Hardwareabstraktion

Die Abstraktion von möglichen Anzeigegeräten beschränkt sich in der derzeitigen Version des Frameworks auf Anzeigegeräte, die eine äquidistante Matrix taktil ausgeben können. Dabei sieht das Framework nur binäre Ausgaben vor – das heißt, Ausgabepunkte können nur voll gesetzt oder nicht gesetzt sein. Eine Anzeige in unterschiedlichen Höhenstufen, wie beispielsweise beim *Orbit Graphiti*-Display (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2), ermöglicht das Framework derzeit nicht. Dies liegt auch daran, dass nur wenige Geräte über eine solche Anzeige verfügen. Im Sinne der kleinsten gemeinsamen Eigenschaften stellt eine solche Möglichkeit somit eher die Ausnahme dar.

Die grundlegenden Eigenschaften taktiler Flächendisplays lassen sich hauptsächlich durch deren Größe (Ausdehnung der Displayfläche in x- und y-Richtung), die mögliche Auflösung (dpi), die Bildsetzrate (Refresh in Hz), sowie die Möglichkeiten für Tasten- und Gesteninteraktion beschreiben (vergleiche Abbildung 6.13).



**Abbildung 6.13:** Klassenstruktur für die Hardwareabstraktion und Implementierung



Diese Eigenschaften werden im Framework an zwei verschiedenen Stellen für eine konkrete Hardware beschrieben: Zum einen in der Implementierung für eine Geräteklasse (**IBrailleIOAdapter**), die die tatsächliche Abstraktion der verwendeten Hardware und damit die Vermittlung zwischen Schnittstellen des Frameworks und der API des Gerätes leisten muss; zum anderen in der Klasse **BrailleIODevice**, die ein konkretes Gerät, das auf der angebundenen Schnittstellenabstraktion basiert und dessen individuelle Eigenschaften repräsentiert. Dabei ist es denkbar, dass unterschiedliche Gerätegrößen oder Ausrichtungen (Pivot) auf derselben Hardwareabstraktion aufsetzen, weshalb Eigenschaften, wie Größe oder Bildsetzrate, nur dem konkreten Gerät selbst zugewiesen werden (siehe Abbildung 6.13).

Grundsätzlich ist es vorgesehen, dass nur ein einziges Gerät (alias **BrailleIOAdapter**) als Hauptausgabegerät dienen kann. Dieses bestimmt, beispielsweise im Sinne eines Responsive Designs<sup>21</sup>, wie groß die Darstellungsfläche einer Anwendung ist. Theoretisch kann aber eine unbegrenzte Anzahl an Geräten am Framework angemeldet werden. Das Wissen um alle angeschlossenen Geräte wird von einer globalen Instanz (**IBrailleIoAdapterManager**) gesteuert (siehe Abbildung 6.12). Sollen mehrere Geräte gleichzeitig zur taktilen Ausgabe herangezogen werden, kann die Anzeige auf weitere Geräte gespiegelt werden. Dazu können sie mit dem Hauptausgabegerät synchronisiert werden. Die Darstellung auf den synchronisierten Geräten wird dabei nicht an deren Größe angepasst – das heißt, zu große Darstellungen werden abgeschnitten, zu kleine Darstellungen nutzen nicht den gesamten Anzeigeraum aus.

mehrere taktile  
Anzeigegeräte

Fast alle derzeit verfügbaren taktilen Flächendisplays bieten auch die Möglichkeit, Anwendungen mittels am Gerät verbauter Tasten zu steuern (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2). Diesen Interaktionsmechanismen soll auch im Framework Rechnung getragen werden, weshalb die Behandlung und Abstraktion von Hardware-Tasten berücksichtigt wird. Zum Umgang mit einem grafikfähigen Display und zur Steuerung einer dafür angepassten Anwendung sind acht beziehungsweise neun Standardtasten als Minimum sinnvoll (siehe Abbildung 6.14):

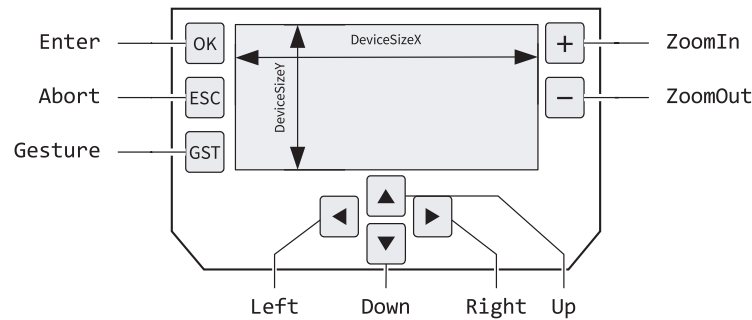
Abstraktion von  
Hardwaretasten

- Für die Interaktion: **OK / Return** – zum Bestätigen von Eingaben, sowie **ESC / Abort** – zum Abbrechen von Vorgängen.
- Für die Navigation: **Links, Rechts, Hoch, Runter** – um sich in planaren Darstellungen sowohl horizontal als auch vertikal bewegen zu können (Auswahlmechanismen) oder den Ausschnitt einer Ansicht zu verschieben (Scrolling/Panning).
- Für die Anzeige von grafischen Inhalten, wie Bildern: **Vergrößern** und **Verkleinern** zur Steuerung des Detailgrads der Darstellung (Zooming).
- Für die Arbeit mit Gesten ist zur Vermeidung des *Midas-Touch Effektes* auf taktilen Displays (siehe Abschnitt 2.3.2) noch ein Taster vorzusehen, der die Eingabe von **Gesten** startet beziehungsweise beendet.

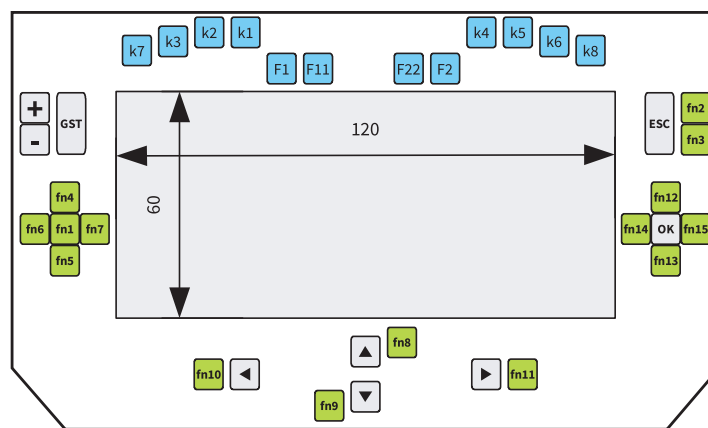
Für Geräte mit mehr als diesen neun Tasten ermöglicht das Framework neben einer unbestimmten Anzahl an zusätzlichen Tasten auch die Kodierung einer integrierten Braille-Tastatur (vergleiche Abbildung 6.15). Darüber hinaus steht es Entwicklern frei, auf die proprietären Tastencodes der Hardware-API zuzugreifen und diese selbst zu verarbeiten. Weitere Beispiele für Tastenkodierungen anderer implementierter taktiler Flächendisplays finden sich im Anhang (Abbildungen 16 bis 18 ab Seite 283). Geräte mit weniger Tasten müssen eine Priorisierung vornehmen und eventuell Tastenkombinationen für die nicht vergebenen Standardtasten vorsehen.

weitere Tasten

<sup>21</sup> Die Darstellung und das Layout passen sich dynamisch an die verfügbare Displaygröße an.



**Abbildung 6.14:** Die neun Standard-Tasten des *BrailleIO*-Frameworks



**Abbildung 6.15:** Interaktionstastenkodierung für das *metec BrailleDis 7200*, *HyperBrailleS*, *HyperBrailleF* Display sowie den *ShowOffAdapter* (*Debug-Monitor*): grau = Standardtasten, blau = Tasten für eine Braille-Tastatur und grün = zusätzliche Funktionstasten

**Debug-Monitor** Für (Entwicklungs-)Arbeiten ohne ein reales taktils Display wurde dem Framework das virtuelle taktils Display **ShowOffAdapter** hinzugefügt (siehe Abbildung 6.11 auf Seite 146). Dieses kann für Zwecke des Debuggings eingesetzt werden. Der damit verbundene *Debug-Monitor* (visualisierende interaktive GUI) ist an ein *metec BrailleDis 7200* (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) angelehnt und bietet Möglichkeiten zur Visualisierung der taktilen Ausgabe, die mit weiteren grafischen Ausgaben überlagert werden kann. Darüber hinaus können Tasteninteraktionen (inklusive Tastenkombinationen) und Gesteneingaben simuliert werden. Die Simulation von Berührungssensordaten auf dem virtuellen Display ist jedoch durch die Nutzung der Maus als Eingabegerät auf einen einzelnen beweglichen Berührungspunkt (single-touch) beschränkt. Darüber hinaus können auf den *Debug-Monitor* auch der Status von Tasten oder Berührungssensorwerte anderer (realer) angeschlossener Geräte gespiegelt und damit visualisiert werden.

### 6.2.1.2 Nutzerinteraktion mit Hardware

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, stehen den meisten taktilen Ausgabege-räten auch Möglichkeiten zur Nutzerinteraktion mittels am Gerät verbauter Kontrollelemente zur Verfügung. Die korrekte Behandlung solcher hardwarenaher Informationen stellt Anwen-dungsentwickler immer wieder vor große Herausforderungen. Das *BrailleIO*-Framework soll den Umgang mit Hardware-Interaktionen vereinfachen und Standardprobleme lösen.

Die bisher in das Framework integrierten Hardwaregeräte bieten über ihre APIs beziehungsweise Treiber lediglich Möglichkeiten, sich über Veränderungen des Status einzelner Tasten informieren zu lassen – beispielsweise mittels sogenannter Events. So werden beispielsweise Informationen darüber übermittelt, dass ein bestimmter Taster jetzt gedrückt oder losgelassen wurde. Der Gesamtstatus aller Tasten zu einem bestimmten Zeitpunkt ist meist nicht zu erfragen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn man als Anwendungsentwickler Tastenkombinationen oder Modustasten zur Interaktion nutzen möchte. Gerade im Umgang mit einem Braille-Keyboard, wie es an einigen Geräten der *metec BrailleDis*-Serie verbaut ist, ist dies der Fall. Das *BrailleIO*-Framework stellt hierfür nicht nur den Zugang zu den nativen Events zur Verfügung, sondern verarbeitet, interpretiert und sammelt diese auch, um dann Anwendungsentwicklern komplexere Events zur Verfügung stellen zu können (siehe Abbildung 6.13). So werden alle Tasten-Events eines Gerätes gesammelt, um jederzeit den aktuellen Status aller Tasten abrufen zu können. Ebenso werden mehrere Tasten-Events zu Tastenkombinationen zusammengefasst.

komplexe  
Tasten-Events

Um für blinde und sehbehinderte Nutzende einen möglichst robusten Umgang mit Tastenkombinationen zu ermöglichen, ist es ratsam, nicht auf das Drücken einer Tastenkombination zu reagieren<sup>22</sup>, sondern auf das Loslassen einer solchen. Da es aber annähernd unmöglich ist, alle Tasten zur gleichen Zeit loszulassen, wurde ein Mechanismus installiert, der über maximal 200 ms alle losgelassenen Tasten zusammenfasst und diese dann als zusätzliches Event über ein losgelassenes Tastenkommando bereitstellt. Eine solche standardisierte und vorimplementierte Abhandlung erleichtert Anwendungsentwicklern das Arbeiten enorm und verhindert Fehler.

Neben den Interaktionsmöglichkeiten über Tasten steht manchen Geräten auch die Auswertung von Berührungsdaten zur Verfügung. Diese können beispielsweise dazu genutzt werden, ortsgebundene Interaktionen für Finger- oder Handpositionen abzurufen (z. B. *Explore-by-Touch* – siehe Abschnitt 2.3.2) oder Gesteneingaben zu tätigen. Hierzu werden die proprietären Sensordaten von Geräten auf die taktile Darstellungspunktmatrix projiziert und normalisiert. Es können sowohl alle berührten Anzeigepunkte in Form einer Wertematrix als auch eine Liste von zusammengefassten Berührungen (blobbs)<sup>23</sup> zur Interpretation genutzt werden.

Touch-Daten

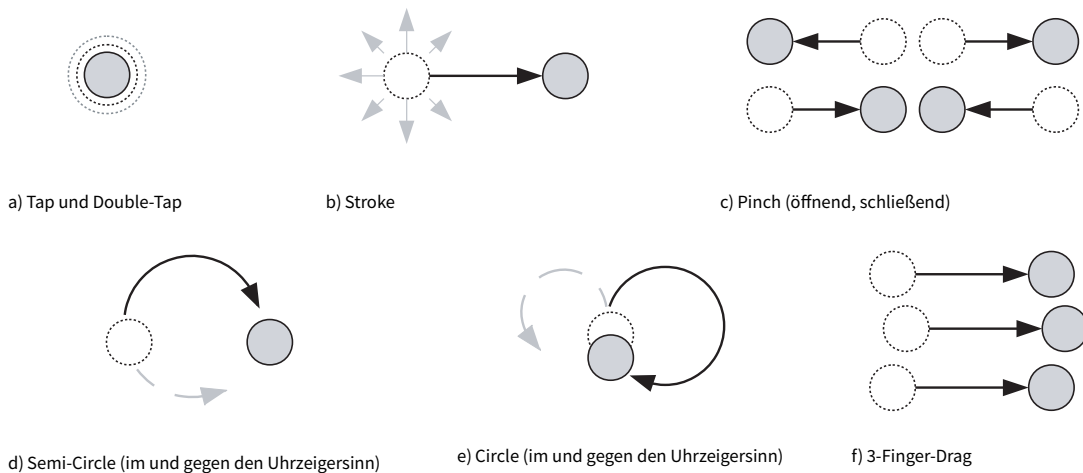
Für die Auswertung von Gesten stellt das *BrailleIO*-Framework einen rudimentären Gestenerkenner bereit. Dieser basiert auf dem Gestenerkenner, der bereits im *HyperBraille*-Projekt für berührungsempfindliche taktile Flächendisplays eingesetzt wurde [PWS10; \*Bor+13, S. 332 ff.] und folgende einfache Gesten erkennt (siehe Abbildung 6.16): **Tap** (Tippen mit einem Finger), **Double-Tap** (Doppeltes Tippen mit einem Finger), **Stroke** (richtungsfreie Linie), **Circle** (Kreis im und gegen den Uhrzeigersinn), **Semi-Circle** (Halbkreis im und gegen den Uhrzeigersinn), **Pinch** (Zwickgeste öffnend und schließend) sowie eine **Drag**-Geste (Ziehen), die mit drei Fingern ausgeführt werden muss. Diese einfachen Gesten lassen sich relativ zuverlässig erkennen, da sie sich in vielen Eigenschaften der Ausführung grundlegend unterscheiden.

Gestenerkenner

Jedoch ist bekannt, dass blinde Menschen mit der Eingabe von Gesten Schwierigkeiten haben und diese teilweise ungewöhnlich ausführen (siehe Abschnitt 2.3.3). Eine Anpassung des verwendeten Gestensets sowie des Gestenerkenners, der es eventuell auch zulässt, dass Nutzende ihre eigenen Gesten vergeben können, soll ebenfalls zulässig sein. Aus diesem Grund kann der verwendete Gestenerkenner einfach durch einen eigenen ergänzt oder ersetzt werden.

<sup>22</sup> Dies würde auch die Nutzung aller in einer belegten Tastenkombination verwendeten Tasten und Tastenkombinationen ausschließen – Präfixfreiheit.

<sup>23</sup> Zentrum mit x- und y-Position sowie elliptische Ausdehnung in horizontaler und vertikaler Richtung



**Abbildung 6.16:** Rudimentäre Standardgesten des im *BrailleIO*-Framework integrierten Gestenerkenners nach [PWS10]

### 6.2.1.3 Aufteilung in Ansichten und Bereiche

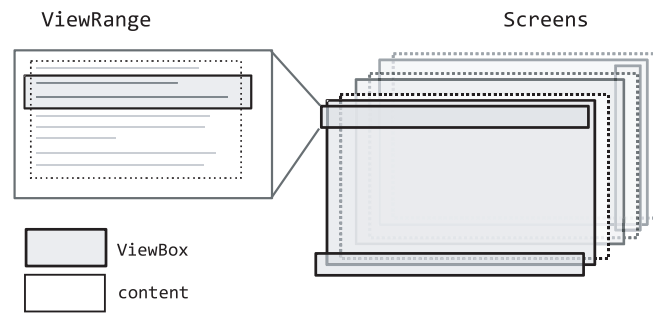
Neben der reinen Möglichkeit einer taktilen Anzeige und angebotenen Interaktionsmechanismen spielt auch die Art der Präsentation von Informationen eine entscheidende Rolle. Wie bereits erwähnt, schlägt PRESCHER für die Arbeit auf (groß-)flächig taktilen Anzeigegeräten die Aufteilung der Darstellungsfläche in disjunkte Bereiche vor, die jeweils eine bestimmte Information bereitstellen und an einem verbindlichen Ort auf dem Display leicht wiedergefunden werden können [Pre16, S. 156]. Diese Bereiche sollen zur besseren Unterscheidung und Erkennung durch taktile Linien voneinander getrennt sein. Das *BrailleIO*-Framework trägt auch dieser Anforderung Rechnung.

Aufteilung der Anzeigefläche in Bereiche Anzuzeigende Informationen können in sogenannten **BrailleIOViewRanges** (im Folgenden **ViewRange** genannt) gerendert und auf taktilen Endgeräten ausgegeben werden. Eine **ViewRange** kann nur eine Art Information und keine weiteren **ViewRanges** enthalten. Um die Anzeigefläche in mehrere Bereiche, welche sich durch **ViewRanges** modellieren lassen, aufzuteilen, stellt das Framework einen Container bereit – den **BrailleIOScreen** (im Folgenden **Screen** genannt). Ein **Screen** kann selbst keine Informationen darstellen, aber dafür eine unbegrenzte Anzahl an **ViewRanges** enthalten (siehe Abbildung 6.17). Diese **ViewRanges** können frei im zweidimensionalen Anzeigeraum des **Screens** platziert werden und sind ebenfalls in ihrer horizontalen wie vertikalen Ausdehnung frei definierbar. **ViewRanges**, die denselben Anzeigeraum beanspruchen, überlagern sich in solider (opaker) Art und Weise. Das heißt, die überlagernde **ViewRange** überschreibt die Darstellung der unteren **ViewRange** im Überlappungsbereich vollständig. Eine Kombination, wie sie beispielsweise durch den Einsatz von Transparenz möglich wäre, ist derzeit nicht vorgesehen. Die Überlappungsreihenfolge ergibt sich entweder nach der Definitionsreihenfolge und wie sie dem **Screen** hinzugefügt wurden<sup>24</sup> oder durch die explizite Definition eines z-Index<sup>25</sup>. Durch den Einsatz eines **Screens**, der mittels **ViewRanges** in mehrere Bereiche unterteilt ist, lässt sich die Anzeigefläche eines taktilen Displays strukturieren.

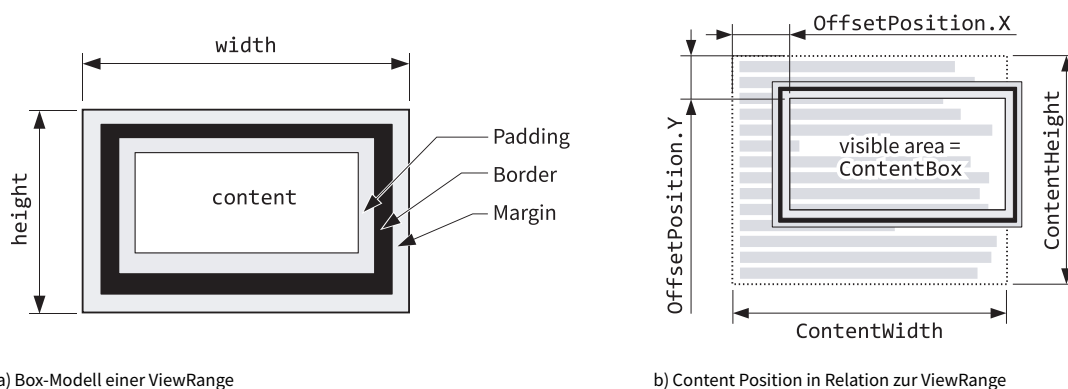
verschiedene Anzeigen definieren Es kann eine unlimitierte Anzahl an **Screens** definiert werden. Es kann jedoch immer nur ein einziger **Screen** aktiv sein und damit angezeigt werden. Dieser aktive **Screen** wird als taktile

<sup>24</sup> ältere **ViewRanges** werden durch jüngere überschrieben bzw. zuerst hinzugefügte durch später hinzugefügte

<sup>25</sup> ein höherer z-Index überlagert niedrigere



**Abbildung 6.17:** Konzept der Aufteilung des Anzeigeraums in Screens und ViewRanges im *BrailleIO*-Framework



a) Box-Modell einer ViewRange

b) Content Position in Relation zur ViewRange

**Abbildung 6.18:** Eigenschaften einer ViewRange im *BrailleIO*-Framework mit Box-Modell und Inhaltspositionierung

Ausgabe gerendert und an die angeschlossenen Endgeräte ausgegeben. Dies ermöglicht es Anwendungsentwicklern, gleichzeitig mehrere verschiedene Ansichten oder Applikationen bereitzuhalten und einfach zwischen diesen umzuschalten, ohne das komplexe Layout aus **ViewRanges** ständig anpassen zu müssen. Jeder **Screen** und jede **ViewRange** kann individuell sichtbar oder unsichtbar gestellt werden.

Die einzelnen Anzeigebereiche können auch taktil voneinander abgegrenzt werden. Dies kann durch erhabene Strukturen (fühlbare Rahmen) oder durch Leerraum zwischen taktilen Mustern realisiert werden. Jede **ViewRange** verfügt dazu über ein eigenes Box-Modell mit drei Eigenschaften, die jeweils für alle vier Seiten einzeln bestimmt werden können<sup>26</sup> (siehe Abbildung 6.18): **Margin** = Außenabstand zu anderen Inhalten (Leerraum aus abgesenkten Stiften), **Border** = Rahmen aus erhabenen Stiften (derzeit sind nur durchgängige Rahmen möglich) und **Padding** = Innenabstand zwischen Rahmen und Inhalt (Leerraum aus abgesenkten Stiften).

Rahmen und  
Abstände  
zwischen  
Bereichen

Jeder **ViewRange** kann ein individueller **Content** zugewiesen werden. Dieser kann durch **Offset** frei unter dem darstellbaren Ausschnitt der **ViewRange** platziert werden. So lassen sich Scrolling/Panning Mechanismen für übergroße Inhalte realisieren. Wie sich der Inhalt im Vergleich zum Rahmen verschiebt, bleibt dabei dem Anwendungsentwickler überlassen. Die eingesetzte Metapher – bewegt sich der Anzeigerahmen wie eine „Lupe“ über den Inhalt oder bewegt sich der Inhalt unter einem feststehenden „Guckloch“ hindurch – sollte allerdings konsistent und der Aufgabe angemessen gestaltet werden.

Inhalt der Bereiche

<sup>26</sup> die kleinste Einheit zur Definition ist dabei ein taktiler Pin (Taxel)

### 6.2.1.4 Rendering von Informationen

Die Überführung von Programmobjekten in die tatsächliche taktile Darstellung auf angeschlossenen Geräten wird durch eine Rendering-Pipeline geleistet. Das heißt, spezialisierte Renderer werden hintereinander gereiht und kombiniert, um die endgültige Anzeige zu generieren (siehe Abbildung 6.19).

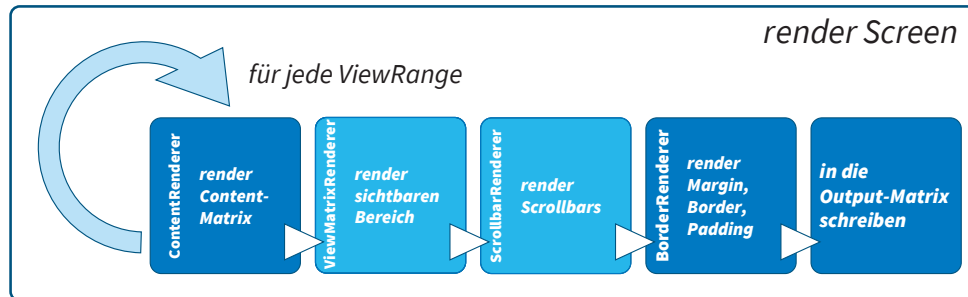


Abbildung 6.19: Rendering-Pipeline des BrailleIO-Frameworks

Erzeugung der binären Ausgabematrix Basis für die taktile Anzeige auf Endgeräten ist eine zweidimensionale Binärmatrix, die definiert, welche Bildpunkte (Taxel) taktil erhaben dargestellt werden sollen. Am Ende des Renderingprozesses steht somit eine Bildmatrix aus erhabenen und abgesenkten Punkten, die an die einzelnen registrierten **Adapter** zur Ausgabe weitergegeben wird. Für jede **ViewRange** wird ein Renderer bereitgestellt, der den zugewiesenen **Content** in eine solche taktile Matrix überführt. Diese wird dann durch weitere Renderer unter Berücksichtigung von gesetzten Panning-Offsets in den verfügbaren Anzeigerahmen eingefügt und beschnitten, sowie mit Rahmen, Abständen (abgesenkten Stiften) und eventuell mit taktilen Scrollbalken versehen. Dieser Vorgang wird für jede sichtbare **ViewRange** des aktiven **Screens** wiederholt. Alle einzelnen **ViewRange**-Matrizen werden sequenziell in die globale Ausgabematrix des **Screens** geschrieben und so zur finalen Ausgabe kombiniert.

Sonderfunktionen für Renderer Renderer können durch Anwendungsentwickler mittels verschiedener Parameter beeinflusst werden. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, dass Renderer, die ein spezielles Interface implementieren (**IBrailleIOHookableRender**), direkt vor ihrem Rendering an den beeinflussenden Parametern und direkt danach das Renderingergebnis selbst durch externe Programmteile verändert werden können (*Hooking*). Außerdem stehen Caching-Mechanismen<sup>27</sup> zur Verfügung.

Refresh-Rate Der Anwendungsentwickler kann selbst bestimmen, wie oft ein neues Rendering angestoßen wird. Standardmäßig wird alle zwei Sekunden ein Neurendering durch das Framework selbst angestoßen, um Anzeigen konsistent zu halten und Programme robuster zu gestalten. Eine Ausgabe an die angeschlossenen Geräte erfolgt dabei jedoch höchstens in einer durch das konkrete **BrailleIODevice** definierten Bildsetzrate. Dies ist bei der Ausgestaltung von Animationen (z. B. Blinken etc.) oder Interaktionsmechanismen (schnelles Panning in mehreren Schritten etc.) zu berücksichtigen. Nicht jedes taktile Ausgabegerät ist für schnelle Bildwechsel geeignet (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2).

Arten von Renderern Neben einigen Standardrenderern, welche anschließend vorgestellt werden, besteht die Möglichkeit für spezielle Datentypen eigene Renderer zu definieren. Diese müssen eine Methode anbieten, einer **ViewRange** als **Content** angefügte Datenobjekte in eine Binärmatrix zu überführen.

<sup>27</sup> Zwischenspeichern von Berechnungs- und Rendering-Ergebnissen zur Schonung von Ressourcen und einer besseren Performance

## Bilder rendern

Eine der Hauptaufgaben des Frameworks ist die Präsentation von grafischen und bildlichen Inhalten. Dazu wird ein Standardrenderer für die Übersetzung von pixelbasierten Bilddateien in eine taktile Binärmatrix angeboten. Dieser Renderer übersetzt, nach Anwendung vorher bestimmter Skalierungsfaktoren, für das gegebene Bild jeden farbigen Bildpunkt aus dem RGB-Farbraum in einen Helligkeitswert. Dieser Helligkeitswert errechnet sich nach der menschlichen Helligkeitswahrnehmung von Farben<sup>28</sup> [oRC00, Technique 2.2.1]. Der Helligkeitswert wird dann durch Ansetzen einer frei anpassbaren Schwelle dazu genutzt, zu entscheiden, ob ein Bildpunkt dunkel ist und damit zu einem erhabenen Taxel führt, oder ob er hell ist und als abgesenkter Punkt dargestellt werden soll. Diese Entscheidungsfunktion kann einfach invertiert werden.

Umwandlung von  
Farbpixeln in Taxel

Das größte Problem beim Umwandeln von Bildern ist der enorme Informationsverlust. Einerseits werden die Farbinformationen von drei auf einen Kanal reduziert, welcher dann auch nur noch zwei Werte zulässt. Andererseits wird durch Anwendung eines Verkleinerungsfaktors auch die Anzahl der Bildpunkte selbst oft massiv reduziert, um den geringen Auflösungen der Ausgabegeräte zu entsprechen. Gerade diese Reduzierung der Darstellungen auf circa 10 dpi oder niedriger (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) führt in der Praxis oftmals zu großen Interpolationsproblemen (siehe Abbildung 6.20 b). Das heißt, feine Linien und Strukturen sowie kleine Objekte und Details können bei der Verrechnung der Bildpunkte mit vielen umgebenen Nachbarbildpunkten verloren gehen oder soweit verändert werden, dass sie nicht mehr erkennbar sind (siehe Pfeilspitzen in Abbildung 6.20 e). Gleiches geschieht auch, wenn Linien oder Punkte zwischen zwei Bildpunkte fallen und sich diese dann auf zwei benachbarte Bildpunkte mit verringerter Helligkeit verteilen. So können Elemente verschwinden (siehe Abbildung 6.20 b) oder ihre Aussage verändern. Auch kann selbiges Phänomen dazu führen, dass Linien doppelt so dick dargestellt werden wie gleichartig gestaltete Linien (vergleiche Abbildung 6.20 e). In der Praxis stellt dies ein großes Problem dar, da die Erkennbarkeit und gute Verfolgbarkeit von taktilen Linien, die beispielsweise die Kontur oder entscheidende Merkmale eines Objektes abbilden, für blinde Menschen von besonderer Bedeutung ist (vergleiche Abschnitte 2.2.2, 3.4 und 5.2). Durch freie Anpassung der gewählten Skalierung sowie der angesetzten Helligkeitsschwelle kann diesen Problemen jedoch entgegengewirkt werden (siehe Abbildung 6.20 c).

Probleme

## Braille-Text rendern

Der Umgang und damit die Präsentation von textuellen Informationen ist essentiell für den Einsatz von Anwendungen in Ausbildung und Beruf. Durch Brailleschrift ist eine effektive Ausgabe von Texten in taktiler Form möglich. Auch das *BrailleIO*-Framework bietet standardmäßig die Möglichkeit zur Umwandlung von Strings<sup>29</sup> in eine Braille-Ausgabe an. Dabei wird ein naiver Ansatz zur Transformation in *ComputerBraille* verfolgt (vergleiche Abschnitt 3.1). Das heißt, die einzelnen Zeichen werden direkt in ein 8-Punkt Braille-Pendant überführt. Eine austauschbare Übersetzungstabelle, die dem Format des *Liblouis*\*-Projekts<sup>30</sup> entspricht, dient als Grundlage zur Übersetzung von Text-Zeichen in Braille-Zeichen des UTF-8 Zeichensatzes. Diese werden dann durch den Braille-Renderer in  $2 \times 4$  Binärmatrizen übertragen.

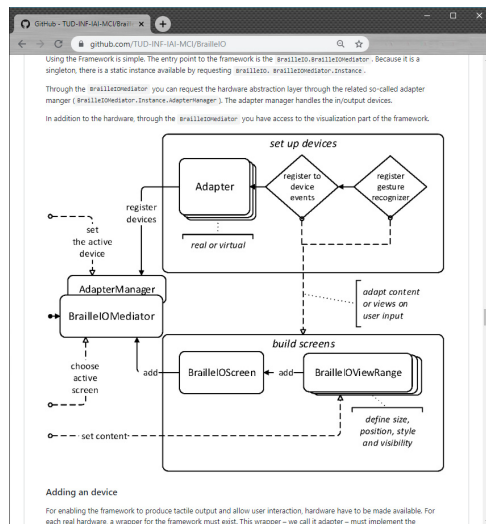
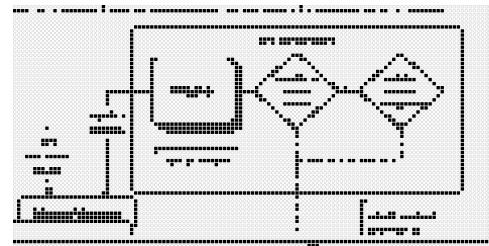
Übersetzung in  
Computerbraille

<sup>28</sup> Bei gleichem Farbwert wird Blau von Menschen dunkler als Rot und Rot dunkler als Grün wahrgenommen – Helligkeit = (rot \* 0.3 + blau \* 0.11 + grün \* 0.59).

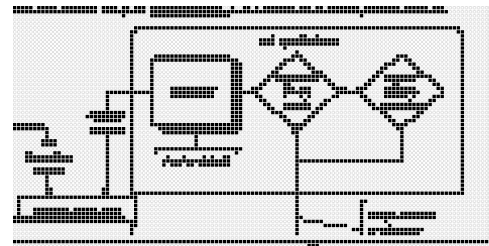
<sup>29</sup> Zeichenketten

<sup>30</sup> *Liblouis*\* - An open-source braille translator and back-translator – Url: <http://liblouis.org/> – zuletzt besucht Dez. 2019

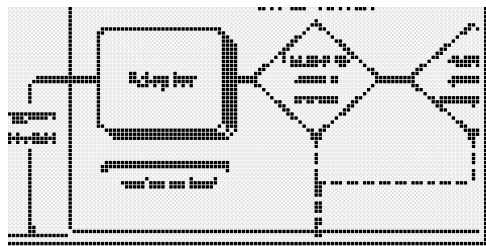


a) Screenshot der *BrailleIO*-Projektseite auf *github*

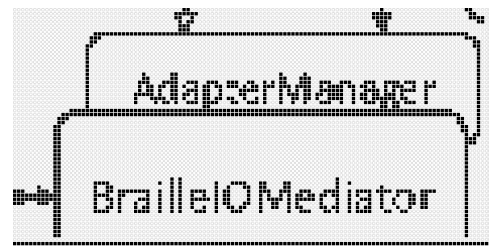
b) Taktile Anzeige des Screenshots und Interpolationsprobleme durch starke Reduzierung der Auflösung



c) Anzeige nach Absenkung der Helligkeitsschwelle



d) Anzeige nach leichter Vergrößerung



e) Anzeige von Details nach starker Vergrößerung

**Abbildung 6.20:** Ergebnis der Transformation von Bildern in eine binäre taktile Darstellung und Beispiele sich daraus ergebender Interpolationsprobleme

**taktile Repräsentation** Der Standard-Braille-Renderer setzt eine Braille-fähige Displayauflösung voraus (circa 10 dpi). Dabei kann er sowohl auf äquidistante wie auch reine Braille-Displays (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) konfiguriert werden. Für äquidistante taktile Displays wird zwischen zwei Textzeilen eine Taxel-Breite und zwischen zwei Textzeilen eine Taxel-Zeile Platz eingefügt. Diese Zwischenräume können für Braille-Displays, die auf Zusatzabstände verzichten können, verringert oder für mehr Abstand vergrößert werden.

Texte werden generell absatzweise umgesetzt. Einzelne Absätze werden dann wortweise in Textzeilen kodiert. Passt ein Wort nicht mehr in eine angebrochene Zeile, wird es in eine neue Zeile geschrieben. Passt ein Wort nicht in eine komplette Zeile, wird es am Ende der Zeile hart umgebrochen. Eine Silbentrennung findet nicht statt.

**Anpassbarkeit** Die Darstellung in Braille kann je nach gewählter Übersetzung und Kodierung stark variieren. Der im *BrailleIO*-Framework standardmäßig integrierte Renderer verfolgt dabei naive Ansätze. Darum ist es notwendig, dass dieser austauschbar oder anpassbar gestaltet ist (vergleiche Abschnitt 3.5). So lassen sich für die naive Übersetzung andere oder angepasste Übersetzungstabellen laden (z. B. für andere Sprachen). Auch ist es möglich, den Renderer komplett auszutauschen und durch einen anderen zu ersetzen, der beispielsweise Kürzungsgrade oder typografische Formatierungen erlaubt (vergleiche Abschnitt 3.1). Ein solcher Ansatz sollte prototypisch umgesetzt werden, scheiterte aber an der Unzulänglichkeit der erzeugten Kürzungen sowie langsamen Renderingzeiten [sKar14].

## Dialogelemente rendern

Anwendungen mit einer GUI setzen oft auf die Interaktion mit (mehr oder weniger) standardisierten Steuerelementen (Control Elements). Dazu zählen unter anderem Menüs, Schaltflächen, Texteingabefelder, Optionsfelder (Radio-Buttons), Auswahlkästen (Check-Boxen) und viele andere. Mit der Bedienung dieser klassischen Steuerelemente sind auch blinde und sehbehinderte Menschen vertraut. Die Nutzung solcher Elemente zur Steuerung einer Anwendung soll daher auch für taktile Benutzungsoberflächen des *BrailleIO*-Frameworks ermöglicht werden. Damit lassen sich dann Menüs, Eingabemasken oder interaktive Dialoge gestalten [sSch18b].

Steuerelemente

Derzeit ist der bereitgestellte Umfang an Steuerelementen auf Textelemente (Label), Schaltflächen – welche auch als (Text-)Menüeinträge genutzt werden können – Optionsfelder (Radio-Buttons) und Auswahlkästen (Check-Boxen), Gruppen – die Steuerelemente zusammenfassen und strukturieren können – sowie Texteingabefelder und Nachrichtenfenster beschränkt (siehe Abbildung 6.21).

verfügbare  
Steuerelemente

Zur taktilen Darstellung werden alle in einer Eingabemaske (**Dialog** genannt) zusammengefassten Steuerelemente zeilenweise als Sequenz präsentiert (siehe Abbildung 6.21). Die einzelnen Steuerelemente selbst werden teilweise rein textuell oder als Kombination aus taktil-grafischen und Braille-Text-Anteilen dargestellt. Diese Darstellungen folgen in den Grundzügen der taktilen Gestaltung für Steuerelemente, wie sie im *HyperBraille*-Projekt zur Substitution von GUI-Komponenten vorgeschlagen wurden [Tar+10; PW16] (vergleiche Abschnitt 4.1).

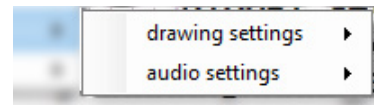
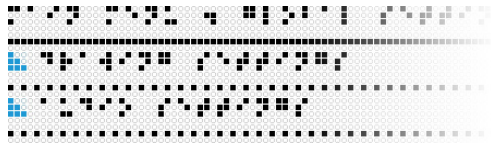
taktile  
Präsentation

## Interaktivität mit der taktilen Anzeige (Back-Translation)

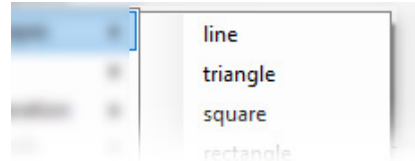
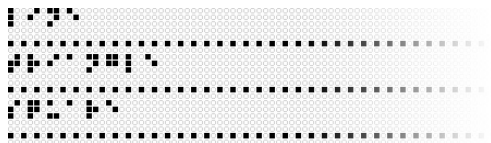
Bei grafischen Benutzungsschnittstellen verhindert in einigen Fällen die Pixel-Barriere (siehe Abschnitt 2.3.1) den Zugriff auf dargestellte Informationen (z. B. in Bildern). Ähnlich verhält es sich auch bei der taktilen Ausgabe. Will man die Interaktion mit dem Dargestellten zulassen, ist es notwendig diese *Taxel-Barriere* zu durchbrechen. Dazu muss es möglich sein, zu entscheiden, welches (Daten-)Objekt am Anfang der Darstellung beziehungsweise des Renderingprozesses steht und in der angezeigten taktilen Struktur resultiert – sogenanntes *Back-Translation*. Auch hierfür bietet das *BrailleIO*-Framework Möglichkeiten an. Diese müssen aber von den entsprechenden Renderern bereitgestellt werden, da nur sie um die Verbindung zwischen Objekt und Darstellungsergebnis wissen. Hierzu kann ein Renderer das Interface **ITouchableRenderer** implementieren, das es erlaubt, den Renderer nach dem Objekt zu fragen, welches Grundlage eines einzelnen Taxels oder eines bestimmten Bereiches war.

Taxel-Barriere und  
Back-Translation

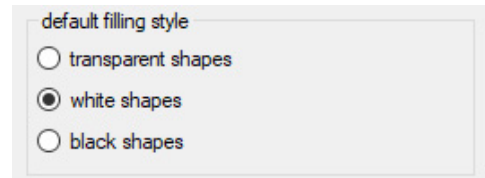
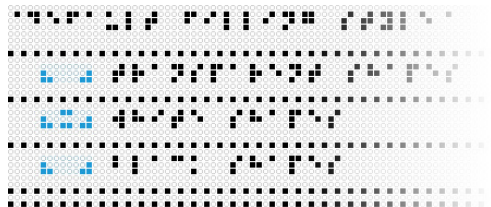
Dieses Interface kann beispielsweise dazu genutzt werden, Gesteninteraktionen auf der taktilen Darstellung zu ermöglichen. So lassen sich auch audio-taktile Interaktionstechniken und Anzeigen realisieren. Zuerst ist jedoch der entsprechende Bildpunkt oder Bereich im Renderingergebnis zu ermitteln. Dieser ist nicht automatisch gleich dem Bildpunkt auf der Anzeigefläche. Die Platzierung der zugehörigen **ViewRange** und des umgebenden **Screens** sowie Zooming und Panning-Offsets haben darauf Einfluss. Auch für solche und viele weitere Grundsatzprobleme werden durch das Framework weitreichende Hilfsfunktionen bereitgestellt, die Anwendungsentwicklern verlässliche und robuste Lösungen bereitstellen.



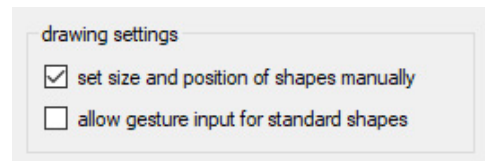
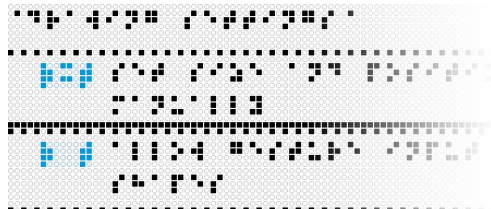
- a) Menüeinträge, die ein Untermenü öffnen – taktil durch ein Dreieck angekündigt; darüber eine Pfadnavigation (Breadcrumb), die einen Hinweis zur aktuellen Menütiefe gibt



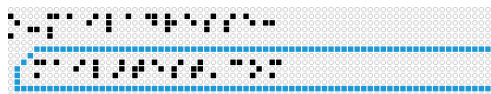
- b) Menüeinträge / Aktivierungen / Schaltflächen, die eine Aktion auslösen



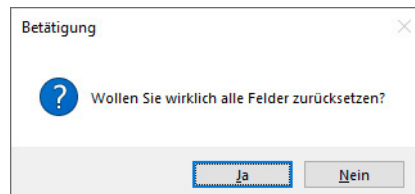
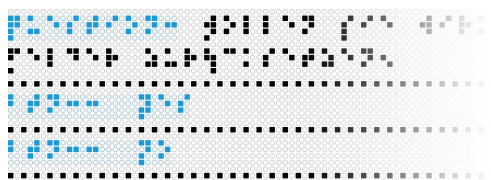
- c) Gruppe von Optionsfeldern (Radio-Buttons) – textlich durch „( )“ bzw. „(x)“ gekennzeichnet



- d) Gruppe von Auswahlkästen (Check-Boxen) – textlich durch „[ ]“ bzw. „[x]“ gekennzeichnet



- e) Texteingabefeld mit Label – taktil durch Rahmung mit abgeschnittener Ecke gekennzeichnet



- f) einfache Nachrichtenbox mit Frage und zwei Schaltflächen (Yes, No) – textuell durch „btn : :“ angekündigt

**Abbildung 6.21:** Taktil-grafische und taktil-textuelle Steuerelemente des *BrailleIO*-Frameworks nach [sSch18b] und deren Pendant in einer GUI

Derzeit wird dieses Interface durch den Standard-Braille-Renderer sowie den Dialog-Renderer implementiert. Damit lassen sich dargestellte und berührte Texte maschinell (weiter-)verarbeiten sowie taktile Steuerelemente identifizieren, die Ziel von Nutzerinteraktionen waren. Es ist ratsam, dass Entwickler für ihre eigenen Contentrenderer ebenfalls dieses Interface anbieten. Zur einfacheren Handhabung können die Rückgabestrukturen des Braille-Renderers genutzt werden. Diese können hierarchisch verschachtelt werden und beinhalten Informationen zum zugrundeliegenden Datenobjekt sowie die Bounding Box des Renderingergebnisses in der Gesamtausgabematrix. Darüber hinaus halten diese **RenderElement**-Objekte Funktionen zur Kollisionsabfrage bereit, um die Suche nach den passenden Objekten hinter einem Taxel zu vereinfachen. Für den Braille-Renderer reicht die hierarchische Struktur beispielsweise vom Wort über eventuelle Teilworte (nach einer Trennung) hin zum einzelnen Braille-Zeichen.

Anwendung

## 6.2.2 Tangram als Screenreader

Die *Tangram*-Anwendung, also der nicht-visuelle Zugang zu Funktionen der Zeichenanwendung *DRAW*, kann generell als eine Art Screenreader verstanden werden. Ebenso wie klassische Screenreader muss auch das *Tangram*-System Informationsquellen über den aktuellen Zustand der Anwendung und der Zeichnung einholen, diese aktuell und valide halten sowie Zugriff auf Programmfunktionen erlauben (vergleiche Abschnitt 2.4).

### 6.2.2.1 Generelle Programmstruktur

Der grundlegende Aufbau des *Tangram*-Programms besteht aus wenigen Hauptkomponenten (siehe Abbildung 6.22), die sich durch zusätzliche externe Module um Funktionalitäten erweiterten lassen (siehe späterer Abschnitt 6.2.2.4). Zentraler Einstiegspunkt ist die **LectorGUI**, die das Programm startet und seine Einzelkomponenten verbindet.

Hauptkomponenten

Zur Steuerung der taktilen Anzeige sind sowohl das Hardwareabstraktionsframework *BrailleIO* (siehe Abschnitt 6.2.1) als auch ein administrierender **WindowManager** eingebunden. Letzterer vereinfacht den Zugriff auf zentrale, die Anzeige und deren Strukturierung betreffende Eigenschaften sowie die Anzeigefunktionen des *BrailleIO*-Frameworks. Nutzerinteraktionen werden vom globalen **InteraktionManager** entgegengenommen, interpretiert<sup>31</sup> und an registrierte und priorisierte Funktionsmodule (sogenannte **SpecializedFunctionProxies**) weitergereicht. Dabei wird ein Interaktionsevent solange an nachstehende Module weitergereicht, bis alle über die Interaktion benachrichtigt wurden oder ein Modul das Event als behandelt und abgebrochen markiert (siehe Abbildung 6.23). Eine spezielle Routine zur Abhandlung von Braille-Keyboards-Eingaben ermöglicht die Behandlung von Texteingaben mittels angeschlossener (*BrailleIO*-)Hardware.

Der Zugriff auf Informationen und Funktionen der Zeichenanwendung *DRAW* wird durch den **OoConnector** geregelt. Ist keine *DRAW* Anwendung aktiv, tritt ein rudimentärer Screenreader (**ViaPicker**) an dessen Stelle, der Zugriff auf die UIA-Schnittstelle (siehe Abschnitt 2.4) und damit auf einige Eigenschaften allgemeiner *Windows* GUI-Elemente ermöglicht. Des Weiteren steht ein globaler **AudioRenderer**<sup>32</sup> zur Ausgabe von Tönen und zur Umwandlung von lokalisierten Texten<sup>33</sup> in synthetische Sprachausgabe mittels dem *Windows* Speech Application Programming Interface (SAPI) zur Verfügung.

<sup>31</sup> Umwandlung von Tasten und Tastenkombinationen in Funktionsnamen nach entsprechender XML-Konfiguration (siehe Abschnitt 6.1.2.2) oder die Erkennung von Gesten (siehe Abschnitt 6.2.1.2)

<sup>32</sup> Projektseite Open Source **DotNet\_AudioRenderer** – Url: [https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet\\_AudioRenderer](https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet_AudioRenderer)

<sup>33</sup> mittels XML-Übersetzungstabellen an die Systemsprache angepasste Textausgaben; Projektseite Open Source **DotNet\_LanguageLocalization** – Url: [https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet\\_LanguageLocalization](https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet_LanguageLocalization)

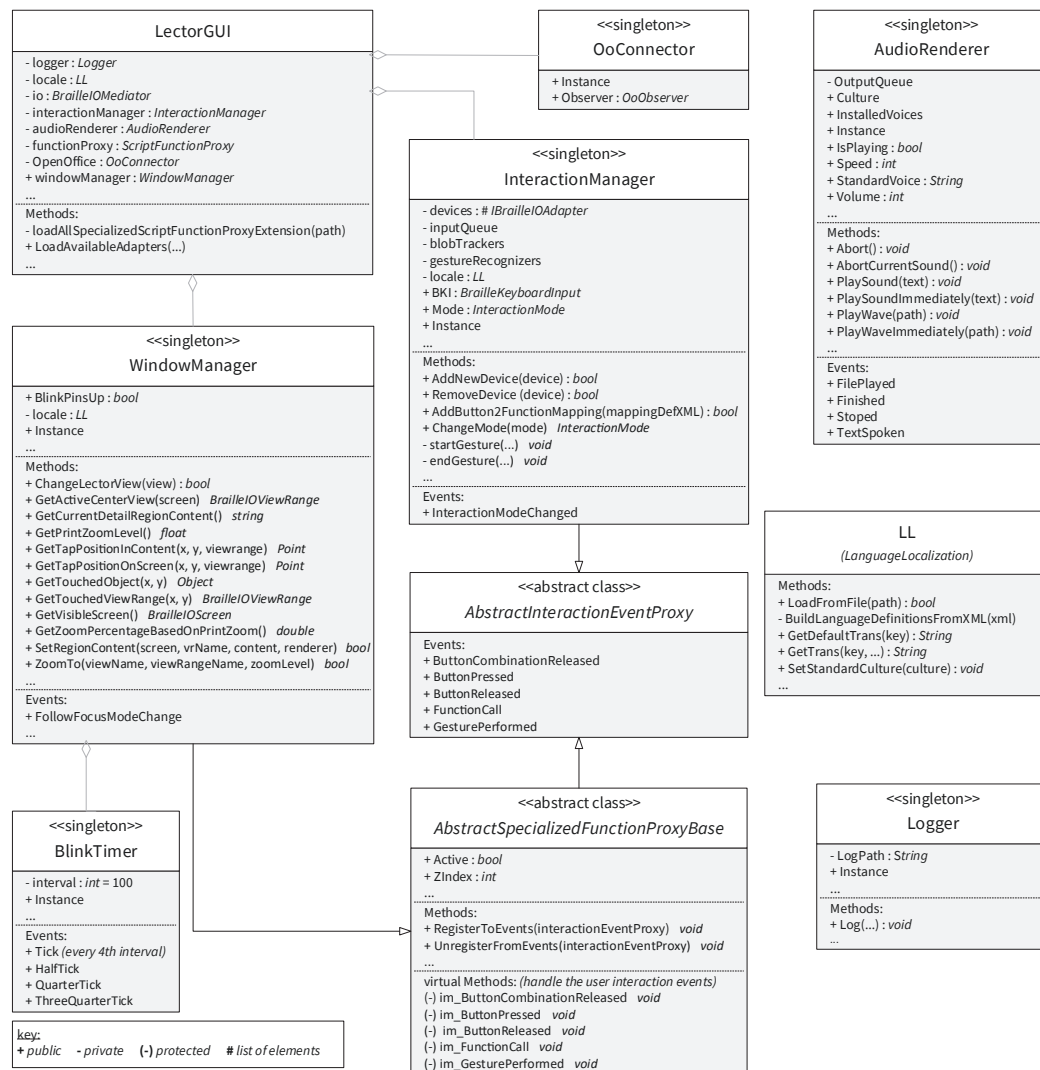


Abbildung 6.22: UML-Diagramm der zentralen Elemente der Tangram Software

### 6.2.2.2 Informationsquellen

**taktile Grafik** Klassische Screenreader bieten meist keinen Zugang zu den grafischen Ausgaben einer GUI. Im *Tangram* System wurde dies durch einen Screenshot-Mechanismus realisiert, der einen taktilen Zugang zu den grafischen Anteilen einer Zeichnung ermöglicht (siehe Abschnitt 6.1.2.1). Dieser allein ist jedoch zur Interaktion mit der Zeichnung oder dem Programm selbst nicht ausreichend. Es braucht mehr Informationen darüber, welche Objekte zum taktilen Darstellungsergebnis geführt haben (*Back-Translation*).

**Schnittstellen** Entscheidend, ob und wie gut eine Anwendung zugänglich für assistive Technologien ist, sind die Programmschnittstellen, die Zugriff auf entsprechende Informationen und Programmfunktionen bieten (vergleiche hierzu Abschnitt 2.4). Für die für den kollaborativen Arbeitsplatz verwendete Anwendung *LibreOffice DRAW* stehen keine Standard-Zugänglichkeitsschnittstellen bereit. Aus diesem Grund muss das nicht-visuelle Interface auf proprietäre Möglichkeiten zur Informationsgewinnung und Anwendungssteuerung zurückgreifen. Dazu stehen zwei Wege zur Verfügung, die miteinander kombiniert werden.

**Middle-Out** Zum einen existiert ein proprietäres Accessibility-Interface für Screenreader, das es ermöglicht, Informationen zu Steuer- und Zeichenobjekten in Relation zu deren Position auf dem

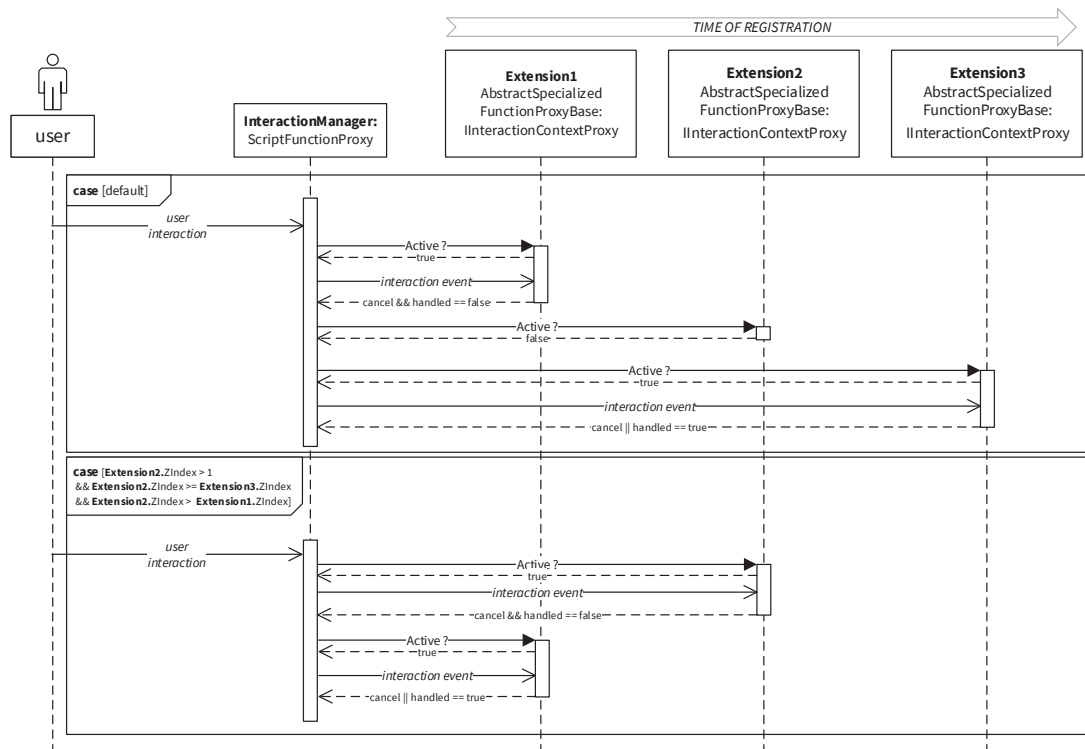


Abbildung 6.23: Sequenzdiagramm zur Abhandlung von Nutzerinteraktionen durch Funktionserweiterungen

Bildschirm zu erlangen. Dabei kann sowohl von einem Objekt auf dessen Position auf dem Bildschirm, als auch von einer beliebigen Bildschirmposition auf das dort abgebildete Objekt geschlossen werden. Letzteres funktioniert jedoch nicht mit ausreichender Präzision, wie man sie beispielsweise für eine Maus- oder Berührungssteuerung benötigen würde. Elemente einer Zeichnung werden bei einer Positionsanfrage nach ihrer Bounding Box zurückgeliefert und nicht nach ihrer tatsächlichen Form. Das bedeutet, Formen mit großer Bounding Box aber kleiner tatsächlicher Formenfläche<sup>34</sup> können verhindern, dass man dahinterliegende Elemente über diese Anfragen zurückgeliefert bekommt. Aus diesem Grund ist auch die in Abschnitt 6.1.2.2 beschriebene Auswahl von Zeichenelementen durch Zeigegesten (Tap) nur unzureichend nutzbar und es muss eine deterministische Alternative angeboten werden, um alle Elemente einer Zeichnung anwählen zu können.

Die zweite offene Schnittstelle dient in erster Linie zur Automatisierung von Programmabläufen mittels Makros oder zur Erweiterung des Funktionsumfangs durch externe Erweiterungen (AddOns/Extensions). Diese Schnittstellen stellen sowohl den Zugang zu Programmfunktionen als auch zum DOM einer Zeichnung bereit. Letzteres kann nicht nur dazu genutzt werden, Elemente innerhalb einer Zeichnung zu identifizieren und zu verorten, sondern diese auch zu manipulieren und die Gesamtanwendung selbst zu steuern.

Top-Down

Der direkte Zugriff auf das einer Zeichnung zugrundeliegende Datenmodell bietet auch Risiken. Sind Interaktionen eines Nutzers innerhalb der GUI oftmals durch Validierungs- oder Sicherheitsmechanismen vor Fehleingaben geschützt, so können diese Schutzmechanismen beim direkten Schreiben von Werten in das Datenmodell selbst umgangen und ausgehebelt werden. Der Nutzende einer solchen Schnittstelle wäre damit mächtiger als ein GUI-Nutzender und es besteht ein erhöhtes Risiko für eine Beschädigung des Dokumentes.

<sup>34</sup> z. B. eine diagonale Linie oder ein unausgefüllter Kreis(bogen)

- Verknüpfung der Informationsquellen** Im Falle von *LibreOffice* (und allen Schwester-Projekten) besteht leider keine direkte Verbindung zwischen beiden benannten Schnittstellen. Das heißt, ein Objekt, welches über eine der beiden Schnittstellen bezogen wurde, kann nicht unmittelbar in die andere überführt werden, um beispielsweise die dort zur Verfügung stehenden Funktionen zu nutzen. Dies ist im Sinne des hier vorgestellten grafisch-taktilen Screenreaders allerdings wichtig, da Positionen in der taktilen Darstellung nur über das Accessibility-Interface ermittelt werden können, während es nur über das Programmierinterface möglich ist, Änderungen durchzuführen oder detaillierte Informationen zu Elementen abzurufen. Eine Verknüpfung beider Schnittstellen muss somit selbst realisiert werden. Dies geschieht mittels Veränderung einer Eigenschaft, die über beide Schnittstellen zugänglich ist. Wird die Änderung in der anderen Schnittstelle nachvollzogen, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich um dasselbe Zeichenobjekt handelt. Als verbindender Parameter wurde der Name eines Objektes – also seine ID – gewählt<sup>35</sup>.
- Steuerungskommandos** Die Steuerung des Zeichenprogramms *DRAW* erfolgt gesondert über einen zentralen Befehlszugang<sup>36</sup>, über den Programmaufrufe, vergleichbar derer aus Menüs und Werkzeugleisten in *DRAW*, übermittelt werden können. Über die nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle steht somit theoretisch ein annähernd großer Funktionsumfang wie durch die GUI zur Verfügung.

### 6.2.2.3 Datenmodell

- Off-Screen-Model** Die Programm- und Zeichnungsinformationen für Nutzerinteraktionen bereitzuhalten, bringt die Notwendigkeit eines internen Datenmodells mit sich. Dieses sammelt die Informationen aus den einzelnen, im vorangegangenen Abschnitt angesprochenen, Informationsquellen. Jene stehen dann schnell zur Verfügung, um unnötige Latenzen in der Interaktion zu vermeiden. Es stellt somit eine Art OSM für die *Tangram* Software dar.
- aktives OSM** Dieses unterscheidet sich aber von anderen OSMs, wie es beispielsweise im *HyperReader* (vergleiche Abschnitt 2.4 oder [KVV08]) verwendet wird, dahingehend, dass es nicht ausschließlich passiv ist. Das bedeutet nicht nur, dass Änderungen an den Objekten selbst durch das Datenmodell vorgenommen werden können, um die Zeichnung zu manipulieren. Zudem überwachen die einzelnen Teile des OSM ihr Programm-Pendant selbständig und passen sich unmittelbar nach dem Bekanntwerden von Änderungen selbständig an – sie observieren somit ihr Gegenüber bis hin zur selbständigen Löschung und Umsortierung. Aus diesem Grund werden sie intern auch als **Observer** bezeichnet. Neue Elemente werden durch den für das Zeichendokument zuständigen **Observer** initiiert. Kindelemente ordnen sich danach selbständig an ihre Position im hierarchischen OSM ein.
- Hierarchie und OSM-Elemente** Die Hierarchie und die darin organisierten Typen von **Observern** richtet sich stark nach der Informationsquelle, die sie nutzen (siehe Abbildung 6.24). Dabei stehen unter der Anwendung selbst ihre einzelnen Anwendungsfenster und die darin angezeigten und bearbeiteten Zeichnungsdokumente. Diese können wiederum aus mehreren Seiten bestehen, auf denen dann einzelne Formen oder Formengruppen organisiert sind. Formengruppen selbst sind dabei auch Formen. Freiformen, wie Polygone oder Bézierkurven, enthalten zudem noch ein oder mehrere Sets an definierenden Eck- und Kontrollpunkten, die ebenfalls überwacht und gesteuert werden können.
- Jeder **Observer**, der initial aus den Informationen aus der Programmierschnittstelle (also dem DOM) entsteht, versucht sein Gegenstück im Accessibility-Interface zu finden (**AccComponent**) und an sich zu binden (siehe Abbildung 6.25). Auf diese Weise ist bei Bedarf ein schneller

<sup>35</sup> nicht mit dem Titel oder der Beschreibung eines Elementes zu verwechseln

<sup>36</sup> ähnlich eines Konsolen-Interfaces



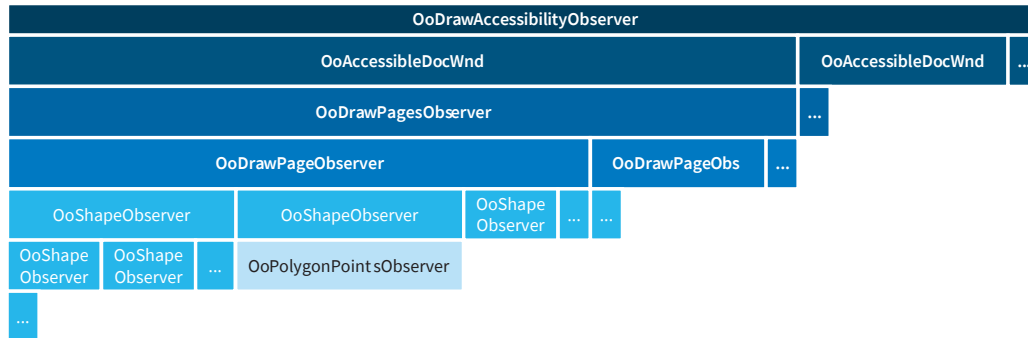


Abbildung 6.24: Hierarchische Organisation der Observer-Objekte

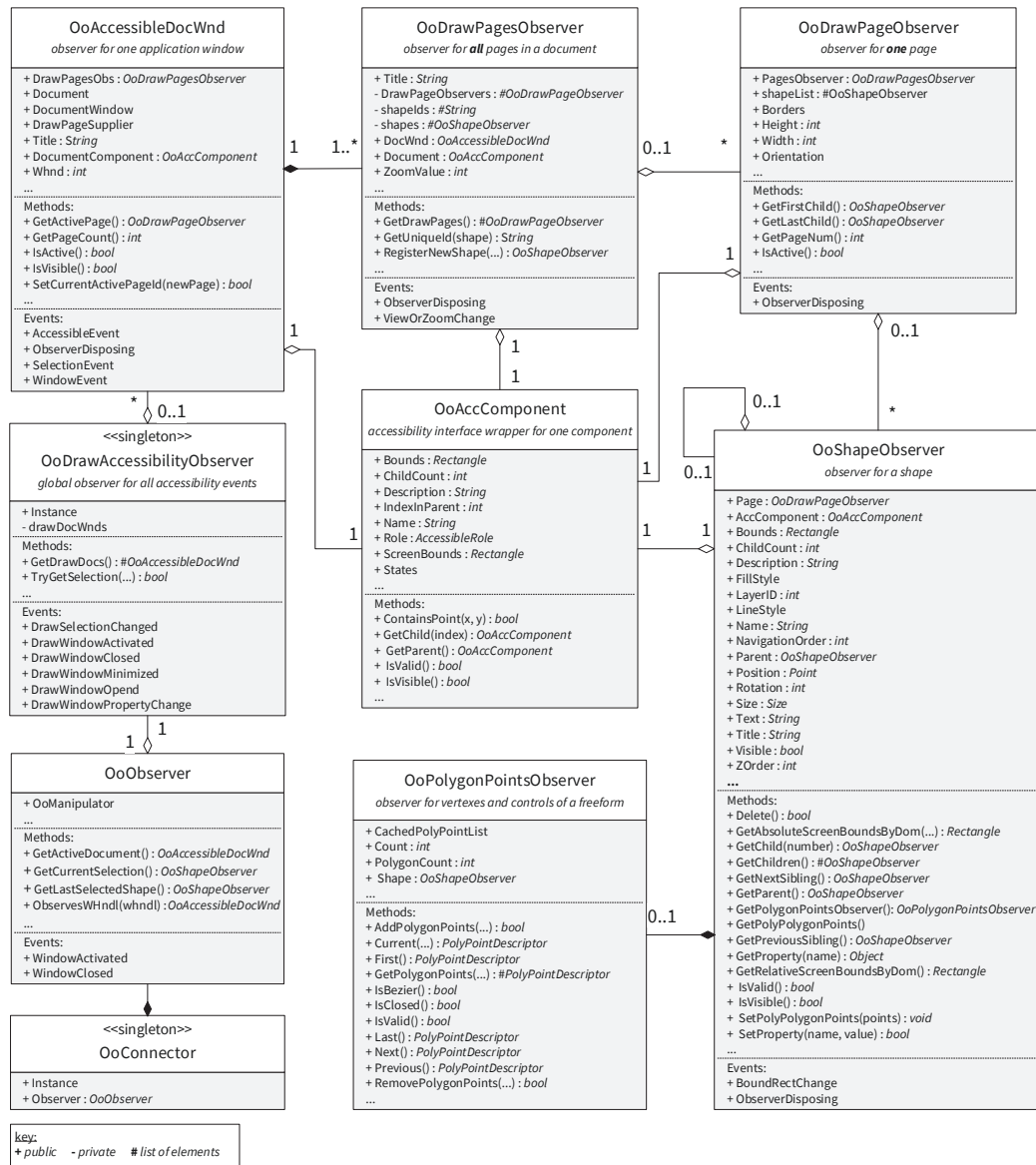


Abbildung 6.25: UML-Diagramm der Observer-Komponenten zur Überwachung der Grafikanwendung DRAW und aller Elemente einer Zeichnung

Wechsel zwischen den beiden Informationsquellen (Programmobjekt-Informationen und Informationen zur visuellen Darstellung) gewährleistet. Bei jedem Informationsabruf vom spezialisierten **Observer** werden dieser und sein Pendant in der Zeichenanwendung validiert. Zudem wird versucht, zwischengespeicherte Werte zu aktualisieren.

**Limitierung** Die Schnittstellen zu *LibreOffice* scheinen in ihrer Bandbreite und Kapazität stark beschränkt, sodass zu viele Anfragen dazu führen können, dass das gesamte Programm instabil wird. Aus diesem Grund wurde eine Begrenzung eingeführt, die verhindern soll, dass Anfragen des *Tangram*-Systems die Zeichenanwendung *DRAW* selbst destabilisieren und damit der Arbeitsfortschritt verloren geht. Es wird die Politik verfolgt, dass lieber eine Information nicht ganz valide oder temporär unzugänglich ist, als dass die bisher (kollaborativ) getätigte Arbeit zerstört oder zurückgeworfen wird. Dies gilt auch für die Ausführung von Steuerkommandos durch das *Tangram*-System. Zur Sicherheit wurde trotzdem ein Mechanismus installiert, der die aktuelle Zeichnung bei Bedarf alle zwei Minuten zwischenspeichert.

#### 6.2.2.4 Erweiterbarkeit

Die *Tangram* Software lässt sich einfach um neue Funktionalitäten sowie Ein- und Ausgabe-Hardware erweitern. Neue Programmteile können zur Laufzeit, beziehungsweise beim Start, dem Programm hinzugefügt werden<sup>37</sup>.

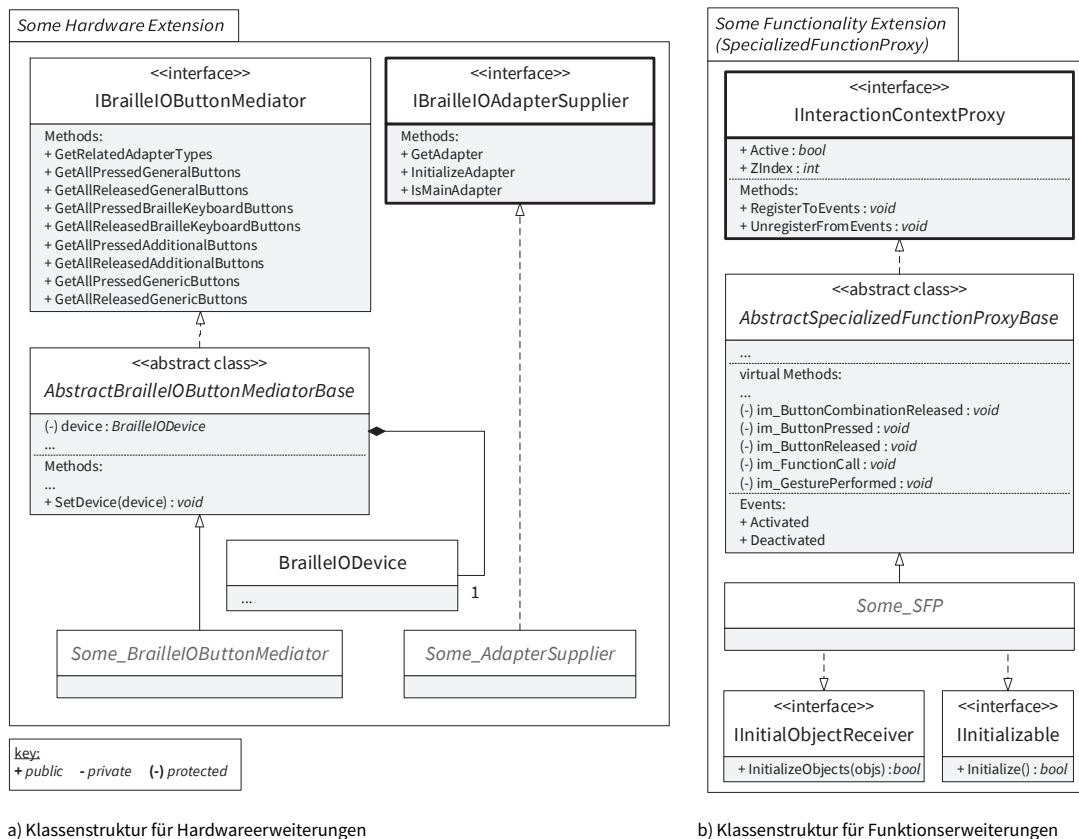
**Erweiterungsmechanismus** Erweiterungen müssen nicht zum Programm hinzu kompiliert werden, sondern können als vorkompilierte kompatible Programmbibliothek (Dynamic Link Library (DLL)) in speziellen Speicherordnern<sup>38</sup> abgelegt werden. Dazu müssen lediglich einige Interfaces implementiert werden, die die Kompatibilität mit dem Programm selbst sicherstellen sollen (siehe Abbildung 6.26). Beim Programmstart werden diese Ordner nach kompatiblen Erweiterungen durchsucht, die anschließend geladen und in den Programmablauf integriert werden. In der globalen XML-Konfigurationsdatei zur Anwendung (**app.config**) können unerwünschte Erweiterungen definiert werden, die nicht geladen werden sollen.

**neue Ein- und Ausgabegeräte** Neue Hardware wird automatisch als solche registriert und initialisiert, und steht somit kurz nach dem Programmstart für Anzeigen oder Interaktionen zur Verfügung. Zudem kann nachträglich eine Anpassung der Kodierung von Hardwaretasten durch die Erweiterung vorgenommen werden (siehe Abbildung 6.26 a). Die Hardware-Erweiterung selbst legt fest, ob ein verfügbares Gerät als Hauptausgabegerät (siehe Abschnitt 6.2.1.1) dienen soll oder nicht. Diese Eigenschaft kann durch ein nachfolgend geladenes Gerät überschrieben werden.

**neue Funktionalitäten** Funktionserweiterungen werden in Form von **SpecializedFunctionProxies** geladen (vergleiche hierzu Abschnitt 6.2.2.1 und Abbildung 6.26 b). Sie werden also als Empfänger für Nutzerinteraktionen (Funktionsaufrufe, Hardware-Events, Gesteninteraktion) registriert. Jede Erweiterung kann eigene Funktionen (Namen) zu den Mappingtabellen für Hardwaretasten hinzufügen, welche natürlich wiederum durch individualisierte Nutzerkonfigurationen überschrieben werden können (vergleiche Abschnitt 6.1.2.2). Eine Nutzerinteraktion wird dann solange zu allen registrierten Erweiterungen weitergereicht bis eine Erweiterung sie behandelt und die Weiterleitung unterbricht (siehe Abbildung 6.23 auf Seite 161). Die Erweiterungen werden automatisch nach dem Zeitpunkt des Ladens in die Abarbeitungsreihenfolge eingefügt. Sie können ihre Priorität aber selbstständig durch Angabe oder Anpassung eines Prioritätsindex festlegen und sich somit in der Abarbeitungsreihenfolge einsortieren.

<sup>37</sup> Projektseite Open Source **DotNet\_Extensibility**– Url: [https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet\\_Extensibility](https://github.com/TUD-INF-IAI-MCI/DotNet_Extensibility)

<sup>38</sup> einer für Hardware, einer für Funktionserweiterungen



**Abbildung 6.26:** Klassenstrukturen für Hardware- und Funktionserweiterungen der *Tangram* Software – der dicke Rahmen markiert das jeweils notwendige Interface zur Identifikation einer Erweiterung

Zur Steuerung von Programmfunktionen stehen neben dem Zugriff auf die zentralen und global verfügbaren Objekte (siehe **Singletons** in Abbildung 6.22 auf Seite 160) auch zahlreiche Hilfsfunktionen bereit. Eine entsprechende Hilfsbibliothek unterstützt beim Umgang mit *DRAW*. Über ein zentrales **Dictionary** (Speicherobjekt für Schlüssel-Werte-Paare) können Erweiterungen Werte und Konfigurationen untereinander austauschen.

## 6.3 Evaluation zur kollaborativen Erstellung von taktilen Grafiken

Der Umstand, dass ein kollaborativer Qualitätssicherungsprozess im Rahmen der taktilen Grafikerstellung noch nicht verbreitet ist, setzt eine entsprechende Evaluation voraus. Dabei soll nicht nur das Werkzeug des kollaborativen Zeichenarbeitsplatzes bewertet werden, sondern auch der Prozess beziehungsweise die sich daraus ergebenden Grafiken.

### 6.3.1 Testaufbau

Für die Evaluation wurde ein Desktop-PC mit einem *Intel core i3* Prozessor mit 3,6 GHz auf zwei physischen und vier logischen Kernen mit insgesamt 8 GB Arbeitsspeicher eingesetzt. Als Betriebssystem wurde *Windows 8.1* und als Zeichenanwendung *LibreOffice DRAW* in der Version

basiert auf



[\*BPW15a]



**Abbildung 6.27:** Kollaborativer Zeichenarbeitsplatz mit Desktop PC und taktilem Flächendisplay

- visuelles Interface** 4.3.6.2 verwendet. Für sehende Teilnehmende standen neben einer Standard-(QWERTZ)-Tastatur und einer Maus zwei knapp 24 Zoll große Monitore mit einer Auflösung von jeweils  $1.920 \times 1.080$  Pixeln zur Verfügung (siehe Abbildung 6.27). Der Test fand in einer kontrollierten Laborumgebung statt, die Störungen von außen ausschloss.
- nicht-visuelles Interface** Als Ein- und Ausgabegerät für sehbehinderte Teilnehmende stand ein *metec BrailleDis 7200* mit einer Displayfläche von  $120 \times 60$  Pins und einer Auflösung von circa 10 dpi zur Verfügung. Das Gerät ist berührungssensitiv mit einer Auflösung von circa 5 dpi und hat 19 Bedienelemente, die sich um die taktile Anzeigefläche herum verteilen (vergleiche Abbildung 3.21 in Abschnitt 3.2.2.2). Auditive Ausgaben erfolgten über die in einem der Bildschirme integrierten Lautsprecher, sodass beide Teilnehmenden diese deutlich wahrnehmen konnten.
- Testsituation und Dokumentation** Für den Test saßen beide Teilnehmende nebeneinander an einem gemeinsamen Schreibtisch. Der gesamte Test wurde mittels Log-Dateien technisch protokolliert, in denen Tasteninteraktionen, Programmfehler und Audioausgaben festgehalten wurden. Zusätzlich war eine Videokamera auf das taktile Display gerichtet, um die Handbewegungen sowie die verbalen Diskussionen zwischen den Teilnehmenden zu protokollieren. Eine Screen-Capturing-Software lief im Hintergrund, um die visuelle Anzeige auf den Bildschirmen festzuhalten. Während des gesamten Testablaufs waren zwei Betreuungspersonen anwesend, die jeweils separat für einen der Teilnehmenden verantwortlich waren. Diese standen unter anderem für konkrete Nachfragen zur Bedienung, beispielsweise welche Tastenkommandos eine gewünschte Funktion auslösen, zur Verfügung.

### 6.3.2 Teilnehmende

sehende  
Teilnehmende

Insgesamt nahmen 16 Personen an der Evaluation teil, die zu acht Paaren aus einer sehenden und einer blinden Person zusammengestellt wurden. Drei Paare wurden zufällig zusammengestellt und zwei Paare kannten sich sehr gut. Die anderen drei Paarungen waren sich bereits vor dem Test persönlich bekannt. Unter den sehenden Teilnehmenden waren vier Frauen und vier Männer im Alter von 22 bis 59 Jahren. Das durchschnittliche Alter betrug 38 Jahre. Vier Teilnehmende beschäftigten sich mehr oder weniger professionell mit der Umsetzung taktiler Grafiken, die restlichen gaben an, nur sehr wenig bis gar keine Erfahrung mit der Erstellung von Grafiken für blinde Menschen zu haben (siehe Tabelle 6.1). Ebenso wurde nach dem Kenntnisstand zu Qualitätskriterien für taktiler Grafiken gefragt, wie sie beispielsweise im Katalog (*Richtlinien zur Umsetzung taktiler Grafiken*) [\*PB16] zusammengefasst sind. Alle sehenden

Teilnehmenden gaben an, Erfahrung im Umgang mit Grafiksoftware zu haben – vier gaben an, bereits mit *LibreOffice DRAW* gearbeitet zu haben. Zwei der professionellen Grafikeditoren nutzten hauptsächlich *Corel Draw*, einer *Microsoft PowerPoint* und einer *LibreOffice DRAW* zur Erstellung taktiler Grafiken.

**Tabelle 6.1:** Demografische Daten und Selbsteinschätzung der Erfahrung der sehenden Teilnehmenden (von *keine* = 0 über *sehr wenig* = 1 bis *sehr viel* = 5)

ID	Geschl.	Alter	Experte/in	Erfahrung mit ...			
				Erstellung von Bildbeschreibungen	Erstellung von taktilen Grafiken	Umgang mit Grafikprogr.	QS-Kriterien f. takt. Grafiken
PS1	m	44	nein	sehr viel	keine	viel	keine
PS2	w	59	<b>ja</b>	keine	mittel	mittel	keine
PS3	w	46	<b>ja</b>	keine	sehr viel	sehr viel	sehr wenig
PS4	w	54	<b>ja</b>	keine	sehr viel	viel	mittel
PS5	m	28	nein	viel	wenig	wenig	keine
PS6	m	28	<b>ja</b>	wenig	mittel	mittel	keine
PS7	m	24	nein	sehr wenig	wenig	viel	viel
PS8	w	22	nein	wenig	wenig	sehr viel	wenig

Aus den Antworten der initialen Befragung, die in Tabelle 6.1 zusammengefasst sind, lässt sich ablesen, dass auch die Teilnehmenden, die als Experten angesehen werden, nur wenig bis gar keine Erfahrung mit Kriterienkatalogen zur Qualitätssicherung haben. Sie verlassen sich bei der Bewertung ihrer eigenen Arbeit auf ihre Erfahrungswerte.

Alle acht sehbehinderten Teilnehmende, darunter zwei Frauen, sind blind, davon vier früherblindet oder geburtsblind. Das Alter der Teilnehmenden lag zwischen 27 und 59 Jahren, bei einem Durchschnittsalter von 43 Jahren. Alle können Braille lesen und haben Erfahrung im Umgang mit Computern. Die Selbsteinschätzungen zu Erfahrungswerten im Umgang mit taktilen Grafiken und dem taktilen Flächendisplay variieren stark (siehe dazu Tabelle 6.2). Beim selbständigen Erstellen taktiler Grafiken gaben die meisten Teilnehmenden an, hauptsächlich Erfahrung mit manuellen Erstellungsmethoden (siehe Abschnitt 3.3.1.2 – *Spezielle manuelle Methoden für sehbehinderte Menschen*), wie taktiler Zeichenfolie, Kopierrädchen, das Spannen von Gummis und Nadeln beziehungsweise die Nutzung von Formenkästen zu haben. Nur drei blinde Teilnehmende gaben an, bereits mit digitalen Methoden Grafiken erstellt zu haben – darunter meist das Schreiben von Bildern in Braille (vergleiche Abschnitt 4.2 – *Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten*).

blinde  
Teilnehmende

**Tabelle 6.2:** Demografische Daten und Selbsteinschätzung der Erfahrung der blinden Teilnehmenden (von *keine* = 0 über *sehr wenig* = 1 bis *sehr viel* = 5)

ID	Geschl.	Alter	Erblindung	Erfahrung mit ...		
				taktile Grafik Erkundung	taktile Grafik Erstellung	taktile Flächendisplays
PB1	w	32	früh	viel	mittel	viel
PB2	w	53	früh	sehr viel	viel	sehr viel
PB3	m	50	spät	mittel	wenig	sehr wenig
PB4	m	59	spät	wenig	sehr wenig	sehr wenig
PB5	m	27	früh	sehr viel	mittel	viel
PB6	m	46	früh	sehr viel	hoch	mittel
PB7	m	38	spät	viel	wenig	mittel
PB8	m	42	früh	sehr viel	mittel	viel

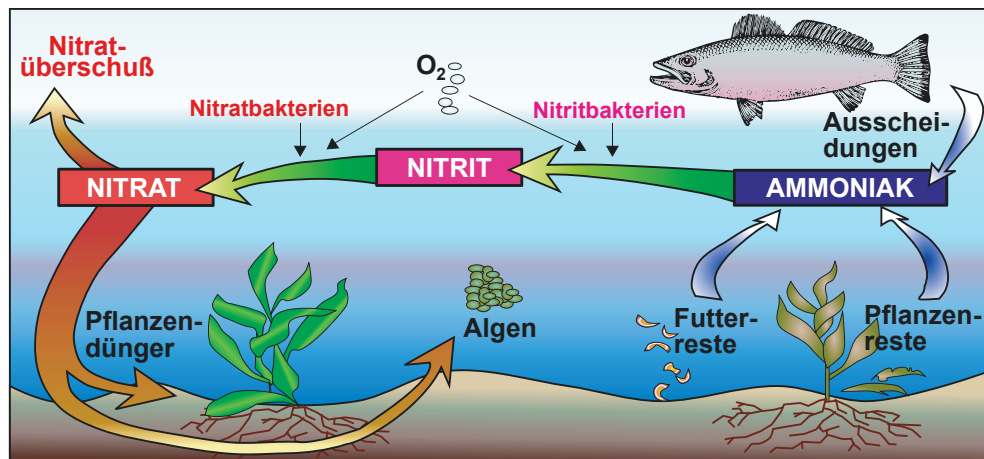


Abbildung 6.28: Beispielgrafik zur Umsetzung in eine taktile Version – Stickstoffkreislauf Unterwasser

### 6.3.3 Testablauf und Materialien

**Aufgabenstellung** Die Aufgabe im Rahmen des Tests bestand darin, eine vorgegebene komplexe Grafik durch eine sehende Person in eine zugängliche taktile Version zu überführen und diese anschließend kollaborativ zu überarbeiten. Hierzu wurde jeweils ein Paar, bestehend aus einer sehenden Person zur Grafikerstellung und einer beratenden beziehungsweise lektorierenden blinden Person zusammengebracht. Gemeinsam sollte die taktile Grafik mit den bereitgestellten Methoden diskutiert und bestmöglich transkribiert werden.

**Testgrafik** Das umzusetzende Bild stellt schematisch den Stickstoffkreislauf, also die Entstehung und Umwandlung von Stickstoffverbindungen durch biologische Prozesse, in einem Unterwasser-Habitat dar (siehe Abbildung 6.28). Die Grafik wurde gewählt, weil sie eine Vielzahl unterschiedlicher grafischer und gestalterischer Elemente sowie Texte enthält. Darüber hinaus ist die Thematik der Darstellung relativ leicht zu verstehen, aber das Wissen darum nicht so weit verbreitet, dass davon auszugehen ist, dass Teilnehmende bereits Experten auf diesem Sachgebiet sind. Zusätzlich zur Grafik selbst wurde eine kurze textuelle Erklärung zum Kontext und den dargestellten Zusammenhängen mitgeliefert.

**Testablauf** Zu Beginn jedes Testdurchlaufs wurden beiden Teilnehmenden gemeinsam die Ziele des Projektes, des Tests und des Zeichenarbeitsplatzes vorgestellt. Danach wurde mit allen Teilnehmenden separat ein Fragebogen zu demografischen Daten und Vorerfahrungen ausgefüllt.

**Phase 1: Einführung und Schulung** Anschließend erfolgte eine separate technische Einführung in den kollaborativen Arbeitsplatz. Sehende Teilnehmende wurden im Umgang mit *LibreOffice DRAW* und der *Tangram-Toolbar* (siehe Abschnitt 6.1.1) trainiert. Teilnehmende Laien in der Umsetzung taktiler Grafiken wurden zusätzlich über grundlegende Qualitätskriterien und Probleme bei der Umsetzung von Grafiken in eine taktile Darstellung (siehe Abschnitt 5.2) unterwiesen, sowie in die Erstellung einer adäquaten Bildbeschreibung eingeführt.

Blinden Teilnehmenden wurden die Möglichkeiten und Funktionen des nicht-visuellen Zugangs zur Zeichenanwendung vorgestellt (siehe Abschnitt 6.1.2) – darunter Navigations- und Orientierungshilfen, sowie die Möglichkeiten zur Selektion, Manipulation und Annotation von Bildelementen. Darüber hinaus wurde auf Limitationen und Probleme des Systems hingewiesen sowie Hilfestellungen und Handlungsempfehlungen gegeben.

Beiden Gruppen wurden die Funktionen und Methoden zur Unterstützung der Kollaboration (siehe Abschnitt 6.1.3) erläutert und demonstriert. Zudem wurden alle Teilnehmenden angehalten, diese auch zu nutzen und sich mit ihrem Gegenüber rege über Ziele, Probleme und Handlungen zu unterhalten.

Für die erste Transkription der visuellen Grafik in eine für blinde Menschen zugängliche Version wurden zwei Bedingungen zugelassen. Professionellen Teilnehmenden wurde erlaubt, die Grafik im Vorhinein mit dem Grafikwerkzeug (Software) ihrer Wahl umzusetzen, sowie eine textuelle Bildbeschreibung dazu anzufertigen. Diese vorbereitete taktile Version wurde dann für den Test in *LibreOffice DRAW* importiert. Den sehenden Teilnehmenden wurde anschließend erlaubt, eventuelle Importprobleme in *DRAW* zu beheben, um das Aussehen der Zeichnung ihrer Originalumsetzung wieder anzunähern. Laien wurden nach der Trainingsphase aufgefordert, die visuelle Testgrafik nach bestem Wissen in *LibreOffice DRAW* in eine taktile Variante zu überführen.

Phase 2: initiale  
taktile  
Transkription

Anschließend wurde ein kurzes gemeinsames Training an einer Beispielgrafik durchgeführt. Hier konnten die Teilnehmenden gegebenenfalls ihr Gegenüber und den Arbeitsplatz besser kennenlernen sowie erstmals die vorgestellten Kollaborationsmechanismen miteinander ausprobieren. Dieser Einführungstest wurde auf eine maximale Dauer von 30 Minuten beschränkt.

Phase 3: Training

Im Hauptteil des Tests wurde der Vorschlag zur taktilen Umsetzung der Testgrafik in den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz geladen. Das Testpaar sollte nun diesen Vorschlag erkunden, diskutieren und, wenn notwendig, verbessern. Zu Beginn sollten die sehenden Teilnehmenden die Originalgrafik, deren Kontext sowie ihre eigene taktile Umsetzung ihrem blinden Gegenüber erläutern. Währenddessen und danach stand es den blinden Teilnehmenden frei, die taktile Umsetzung mittels des taktilen Displays zu erkunden. Anschließend konnten die Paarungen über Lesereihenfolgen, Darstellungen, Erkennbarkeit und Ähnliches diskutieren. Ebenso konnten durch beide Teilnehmende Anpassungen und Änderungen an der Umsetzung vorgeschlagen beziehungsweise direkt umgesetzt werden. Diese Phase wurde beendet, nachdem beide Teilnehmende erklärt haben, dass sie mit dem jetzigen Ergebnis zufrieden sind.

Phase 4:  
kollaboratives  
Lektorat

Nach der kollaborativen Phase wurden die Teilnehmenden erneut separiert, um sie mit einem Fragebogen zum System und dem kollaborativen Arbeitsablauf zu befragen. Abschließend wurden beide Varianten der taktilen Umsetzung (vor und nach der Kollaboration) mittels grafikfähigem taktilen Prägedrucker (*ViewPlus Tiger Pro*) in einer Auflösung von 20 dpi in DIN A4 Größe<sup>39</sup> produziert. Beide Teilnehmenden sollten separat die Güte (Lesbarkeit und Verständlichkeit) der beiden Grafiken bewerten.

Phase 5:  
Retrospektive und  
Bewertung

### 6.3.4 Ergebnisse

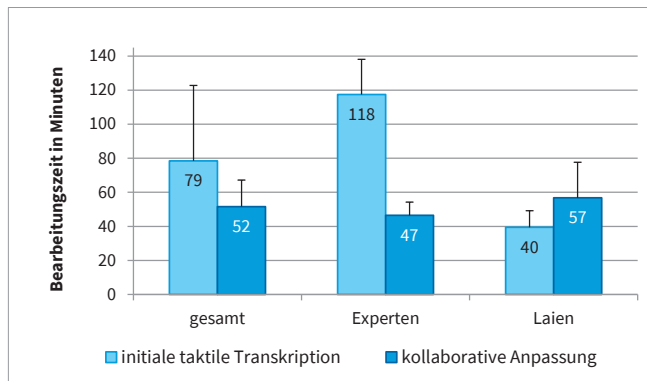
Die Evaluation konnte zeigen, dass es mit Hilfe des *Tangram* Arbeitsplatzes möglich ist, eine blinde Person direkt in den Erstellungsprozess einer (taktilen) Grafik mit einzubeziehen.

Ein Testdurchlauf, inklusive aller in Abschnitt 6.3.3 benannten Phasen (aber exklusive Pausen), dauerte zwischen 4 und 5 Stunden. Die durchschnittlichen Zeiten für die Erstellung der ersten taktilen Version und der kollaborativen Phase finden sich in Abbildung 6.29. Es ist zu erkennen, dass sich gerade die professionellen Teilnehmenden sehr viel Zeit für die Erstellung ihrer ersten taktilen Version genommen haben. Die als Laien eingestuften Teilnehmenden, die ihre erste Version vor Ort im Test erstellt haben, waren hingegen deutlich schneller in ihrer Umsetzung. Demgegenüber stehen die Zeiten für die kollaborative Überarbeitung. Hier wurde durchschnittlich weniger Zeit zur Überarbeitung von professionellen Grafiken investiert als bei Teams, die eine durch einen Laien erstellte Grafik überarbeiteten. Im Durchschnitt waren bis zur finalen taktilen Grafik rund 131 Minuten notwendig.

Dauer

<sup>39</sup> entspricht genau der Darstellungsgröße in *DRAW* und auf dem taktilen Display bei Zoomlevel 100 % (*Print-Zoom*, vergleiche Abschnitt 6.1.2.1)



**Abbildung 6.29:**

Durchschnittliche Dauer der einzelnen Phasen zur kollaborativen Erstellung der finalen Testgrafik (Mittelwerte und Standardabweichungen; n (gesamt) = 8 – 4 Experten)

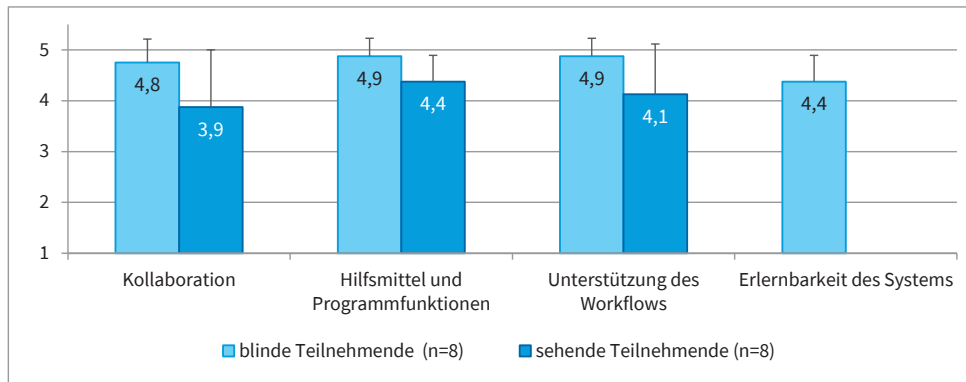
Ein Vergleich mit einem konventionellen Ablauf zur Qualitätssicherung mit mehreren Iterationen, die durch einen taktilen Ausdruck ermöglicht werden, fand im Rahmen dieser Evaluation nicht statt. Keiner der Teilnehmenden war mit der Arbeitsumgebung, dem kollaborativen Zeichenarbeitsplatz und der damit ermöglichten Arbeitsweise vertraut. Zudem kannten sich einige Paarungen nur flüchtig oder gar nicht. Aus diesem Grund und der geringen Anzahl an Testdurchläufen ist keine fundierte Aussage zur Effizienz des Verfahrens möglich. Im Vergleich werden durchschnittlich ein bis zwei Stunden für die Transkription einer taktilen Grafik investiert (vergleiche Abschnitt 5.1 – *Literaturumsetzung und Erstellung taktiler Grafiken*). Dabei muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass sich diese Angabe nur auf den initialen Erstellungsaufwand bezieht und negatives Feedback mit anschließender Überarbeitung (wenn diese überhaupt stattfindet) nicht mitberücksichtigt wird.

#### 6.3.4.1 Bewertungen und Anmerkungen

**Bewertung des Arbeitsplatzes** Die meisten angebotenen Funktionen und Konzepte für den nicht-visuellen Zugang wurden durch die blinden Teilnehmenden als sehr hilfreich und intuitiv bewertet. Vor allem die Möglichkeit, Elemente einer Grafik durch Berührung auszuwählen, und die dazu ausgegebenen Audio-Informationen (Typ, Name, Titel, Beschreibung, eventuelle Kinder) wurden allgemein als sehr gut beschrieben. Damit ließe sich ein sehr gutes audio-taktilen Explorationskonzept, wie bei IVEO und ähnlichen Systemen (vergleiche Abschnitt 4.1 – *Systeme zum Erkunden von grafischen Inhalten*), realisieren. Dies kann wiederum den Einsatz von Braille-Beschriftungen in Grafiken reduzieren.

Einige Bewertungen sind in Abbildung 6.30 zusammengefasst. Insbesondere die blinden Teilnehmenden gaben durchweg positive Rückmeldung über die angebotenen Funktionen, die Kollaboration mit einer sehenden Person und den Arbeitsablauf im Allgemeinen. Sogar die Erlernbarkeit des Systems wurde als gut bewertet, selbst wenn die Fülle an Funktionen und den dazu notwendigen Tastenkombinationen groß ist. Die Verwendung von einfachen Tasten für häufige Funktionen und intuitiven – an Anfangsbuchstaben von Funktionen geknüpfte – Tastenkommandos (vergleiche Abschnitt 6.1.2.2), scheinen somit zielführend zu sein, um ein solch komplexes System in seiner Bedienung zu vereinfachen.

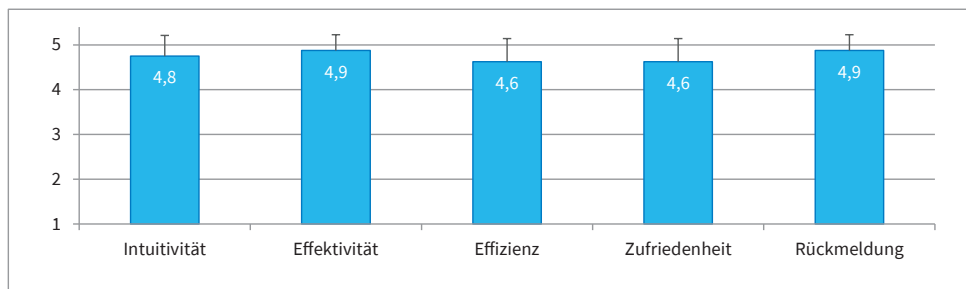
**Foki** Die verschiedenen Foki wurden kritisch bewertet. Der Umgang erscheint schwierig und teilweise verwirrend beziehungsweise überfordernd, gerade wenn sehr viele Änderungen in kurzer Zeit an blinde Nutzende übermittelt werden. Der Einsatz des Konzepts zur Übermittlung des visuellen (Anwendungs-)Fokus an einen blinden Nutzenden sollte darum, wie bereits in Abschnitt 6.1.3 beschrieben, überlegt eingesetzt werden. Teilnehmende gaben an, dass sie mit etwas mehr Erfahrung durchaus einschätzen könnten, wann sie ein solches Konzept einsetzen würden und wann nicht.



**Abbildung 6.30:** Bewertung von Aspekten des *Tangram* Arbeitsplatzes (Skala von 1 = *sehr schlecht* bis 5 = *sehr gut*; Mittelwerte und Standardabweichungen)

Die Bearbeitungsmöglichkeiten, die einem Nutzenden durch das nicht-visuelle Interface zur Verfügung stehen (vergleiche Abschnitt 6.1.2.3), wurden in Verbindung mit der Fünf-Tasten-Cursor-Steuerung auf dem *BrailleDis 7200* als sehr intuitiv, effizient und zufriedenstellend bewertet (siehe Abbildung 6.31). Die Zugänglichkeit der Bearbeitungsmodi mittels Rotationsmenü wurde zwar als etwas umständlich, aber aufgrund der geringen Anzahl an Optionen als adäquat bewertet. Der Einsatz von noch mehr Tastenkommandos als Alternative wurde hingegen eher abgelehnt. Einige blinde Nutzende gaben an, dass sie sich einen kurzen Hilfetext, also eine Einführung oder initiale Erklärung des angewählten Bearbeitungsmodus, wünschen würden. Ebenso wurde angemerkt, dass bereits beim Einschalten eines Bearbeitungsmodus die aktuellen Werte des Bearbeitungsobjektes auch auditiv ausgegeben werden sollten<sup>40</sup>. Die Manipulationsmöglichkeiten in Verbindung mit der unmittelbaren taktilen Rückmeldung über das Ergebnis wurden durch die Teilnehmenden durchweg als sehr positiv bewertet.

nicht-visuelle  
Bearbeitungs-  
möglichkeiten



**Abbildung 6.31:** Bewertung der nicht-visuellen Bearbeitungsmodi des *Tangram* Arbeitsplatzes durch acht blinde Personen (Skala von 1 = *sehr schlecht* bis 5 = *sehr gut*; Mittelwerte und Standardabweichungen)

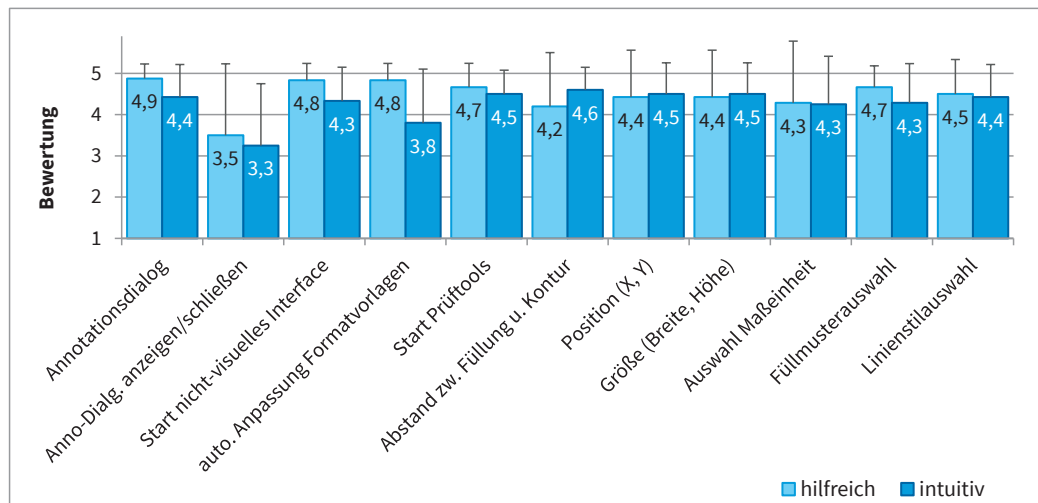
Die Funktionen der *Tangram-Toolbar* wurden durch die sehenden Teilnehmenden als hilfreich und intuitiv bewertet (siehe Abbildung 6.32). Einige der angebotenen Funktionalitäten (Einblenden des Annotationsdialoges für Titel und Beschreibung oder das Hinzufügen eines Abstands zwischen Kontur und Objektfüllung) wurden während des Tests nicht benutzt.

Toolbar

Alle Teilnehmenden wurden nach Vor- und Nachteilen befragt, die ein solches System ihrer Meinung nach im Vergleich zur konventionellen taktilen Grafikumsetzung mit sich bringt. Alle sehenden Teilnehmenden gaben an, dass die Einbeziehung einer blinden Person zur direkten Abstimmung über Probleme oder Unklarheiten ein immenser Vorteil wäre.

Vor- und Nachteile

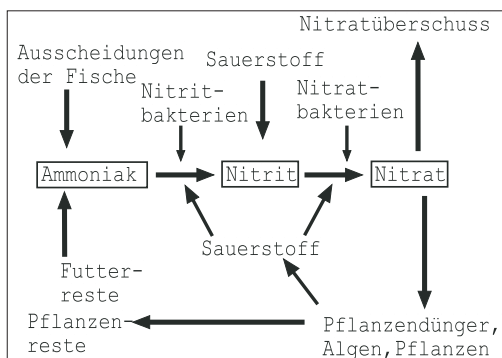
<sup>40</sup> Aktuelle Werte stehen im *Detailbereich* als Braille-Text zur Verfügung.



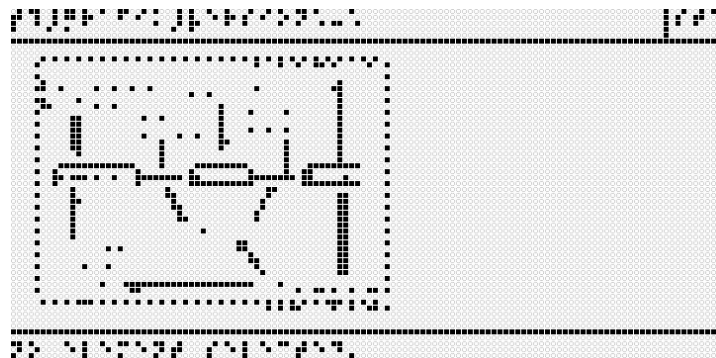
**Abbildung 6.32:** Bewertung der GUI-Erweiterungsfunktionen des *Tangram* Arbeitsplatzes durch acht sehende Personen (Skala von 1 = *sehr schlecht* bis 5 = *sehr gut*; Mittelwerte und Standardabweichungen)

Nichtsdestotrotz kritisierten zwei der professionellen sehenden Teilnehmenden die geringe Auflösung und Größe des eingesetzten taktilen Displays und die damit einhergehenden Interpolationsprobleme (vergleiche Abschnitt 6.2.1.4). Dies würde einem blinden Gegenüber nur einen unzureichenden Überblick über die Grafik ermöglichen (siehe Abbildung 6.33). Zwei sehende Teilnehmende (eine Expertin und ein Laie) sowie zwei blinde Teilnehmende gaben an, den kollaborativen Ansatz selbst kritisch zu sehen.

**Anmerkung blinder Teilnehmender** Alle blinden Teilnehmenden freuten sich darüber, eine entscheidende Rolle in der Erstellung von Grafiken spielen zu können. Die Möglichkeit, die Qualität der Grafiken dadurch zu verbessern, empfanden viele als notwendig und erstrebenswert. Gerade der unmittelbare taktil-grafische Zugang zum Entstehungsprozess sowie zu Änderungen oder eigenen Manipulationen wurde als sehr großer Vorteil beschrieben. Die Möglichkeit, sich darüber hinaus Aufgaben aufzuteilen, wurde ebenfalls hervorgehoben. Dennoch erwähnten drei blinde Teilnehmende, dass sie es als großen Nachteil empfinden, dass sie überhaupt eine sehende Person zum Umgang mit dem taktilen Arbeitsplatz benötigen.



a) visuelle Grafikumsetzung



b) taktile Überblicksansicht auf dem BrailleDis 7200 Display

**Abbildung 6.33:** Visuelle Darstellung einer taktilen Grafikumsetzung und Anzeige auf einem taktilen Display in kleinster Zoomstufe (Überblick)

### 6.3.4.2 Beobachtungen

Während der Testdurchläufe wurden Besonderheiten im Umgang mit dem System sowie zwischen den Teilnehmenden einer Paarung untereinander beobachtet.

#### Kollaboration

Durch die beiden Testleitenden und eine unabhängige Usability-Expertin wurde versucht, spezielle Arten der Kollaboration zwischen sehenden und blinden Teilnehmenden zu identifizieren und anschließend zu klassifizieren. Dazu wurden die textuellen Testprotokolle sowie die Videoaufzeichnungen herangezogen. Jede Analyse wurde separat und unabhängig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden anschließend zusammengeführt. Alle drei Analysierenden konnten übereinstimmend drei Typen von blinden Nutzenden identifizieren und wie diese mit der taktilen Grafik beziehungsweise ihrem sehenden Gegenüber interagierten:

1. *Passiver Beobachter*: Die blinde Person wird hauptsächlich durch die sehende Person geleitet und gibt oftmals nur Hinweise oder Meinungsäußerungen, wenn sie danach gefragt wird.
2. *Aktiver Berater*: Die blinde Person gibt der sehenden Person von sich aus Hinweise und Handlungsanweisungen, führt aber selber keine Modifikationen durch.
3. *Aktiver Grafikbearbeiter*: Die blinde Person gibt nicht nur Hinweise und Handlungsaufforderungen, sondern greift auch proaktiv durch selbständige Modifikationen oder textuelle Annotationen ein. Auch eine parallele Bearbeitung von verschiedenen Aufgaben ist möglich.

Zwei der blinden Teilnehmenden konnten als *Typ 1*, eine Person als *Typ 2* und drei Teilnehmende als *Typ 3* klassifiziert werden. Zwei Teilnehmende entsprachen anfangs dem *Typ 2*, änderten ihr Verhalten jedoch während des Testablaufes zum passiveren *Typ 1*. Allgemein fällt auf, dass gerade die Teilnehmenden mit wenig Erfahrung im Umgang mit taktilen Flächendisplays eine deutlich passivere Rolle einnahmen als solche, die bereits Erfahrung haben oder sogar Experten im Umgang mit dem taktilen Ein- und Ausgabegerät sind. Dazu kommt, dass die beiden als generell *Typ 1* klassifizierten Personen ebenfalls die wenigste Erfahrung mit taktilen Grafiken im Allgemeinen hatten. Die Erfahrung im Umgang mit einem taktilen Flächendisplay scheint jedoch mehr Einfluss auf die Aktivität in einem solchen kollaborativen Szenario zu haben, als die Erfahrung in der Erkundung taktiler Grafiken.

Das Diskussionsverhalten innerhalb der Paarungen war deutlich angeregt bei Teams, die sich bereits vorher gut bis sehr gut kannten. Darüber hinaus konnte beobachtet werden, dass innerhalb von Paarungen mit sehr unterschiedlichem Erfahrungslevel (Experte und Laie) Diskussionen oft langwierig wurden. Dies führte dazu, dass sich die weniger erfahrene Person im Laufe des Tests immer weiter zurücknahm. Dies kann auch die bereits erwähnte Änderung des Kollaborationsverhaltens der beiden blinden Teilnehmenden erklären.

Es wurde zudem häufig beobachtet, dass die sehenden den Änderungsanweisungen oder -wünschen der blinden Teilnehmenden nicht widersprachen, selbst wenn die gewünschten Änderungen die Qualität der Grafik wesentlich verschlechtern würden. Solche Änderungswünsche resultierten beispielsweise aus Problemen der Übersichtlichkeit, Interpolations- oder Verständnisproblemen sowie Verwechslungen und Missverständnissen innerhalb der Teams. So wurden beispielsweise auch von professionellen Grafikautoren kommentarlos Linien absurd verbreitert, sodass diese in der sehr kleinen Überblicksdarstellung auf dem taktilen

Nutzertypen

Kommunikation  
und Kollaboration

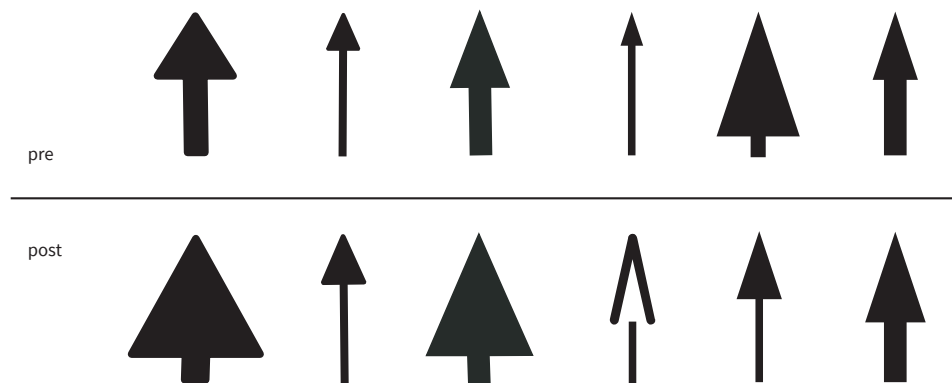
Display sichtbar wurden, anstatt dass die taktile Ansicht adäquat angepasst wurde, um die Situation und die Darstellung korrekt zu bewerten. Dies zeigt, dass die Erfahrung im Umgang mit dem System, der taktilen Darstellung und in der Kommunikation und Kollaboration zwischen den Teilnehmenden eine ebenso entscheidende Rolle zum Erfolg der Qualitätsverbesserung einnimmt wie das Wissen um Qualitätskriterien für gute taktile Grafiken selbst.

- Diskussionspunkte** Alles zusammengefasst wurden 51 Diskussionen über mögliche Änderungen an Grafiken protokolliert, darunter Fragestellungen von sehenden Teilnehmenden wie „Sind die Pfeile gut zu erkennen?“, „Soll ich die Linie dicker machen?“ oder „Soll ich die gesamte Grafik spiegeln, sodass du sie von links nach rechts lesen kannst?“. Anregungen von blinden Teilnehmenden waren eher der Art: „Die Pfeile sollten weiter weg von Objekten sein!“ oder „Hier sollte eine Beschreibung hinzugefügt werden“.
- Änderungen** In 60,8 % der Fälle initiierten die sehenden Teilnehmenden die Diskussionen, was aber nur in 45,2 % der Fälle zu einer tatsächlichen Änderung in der Grafik führte. In den meisten Fällen stimmten die blinden Personen den Änderungsvorschlägen oder Bedenken des sehenden Partners nicht zu. Beispielsweise fragten drei sehende Teilnehmende ihr Gegenüber, ob man eine abstrakte bildliche Darstellung eines Fisches anstatt eines Textes verwenden sollte, was alle blinden Teilnehmenden ablehnten. Demgegenüber steht jedoch, dass 80 % der Vorschläge von blinden Personen tatsächlich umgesetzt wurden.
- Laien vs. Experten** Im Allgemeinen konnte beobachtet werden, dass die sehenden Laien das System sehr viel offener, neugieriger und spielerischer benutzten als die professionellen sehenden Teilnehmenden. Darüber hinaus strengten sie auch deutlich mehr Diskussionen mit ihrem sehbehinderten Gegenüber an und nutzten bereitgestellte Funktionen rege. Die professionellen Teilnehmenden hingegen beschwerten sich häufiger darüber, dass einige Funktionen der Anwendung *DRAW* fehlten oder nicht so funktionierten, wie sie es von ihren eigenen Programmen her gewohnt sind. Sie schienen damit – auch in ihrem beobachteten Handeln – eher unflexibel bei der Umstellung auf das neue Zeichenprogramm selbst zu sein. Des Weiteren wurde beobachtet, dass sich Laien Änderungswünsche erklären ließen und Diskussionen über eine Verbesserung oder Gründe starteten. Die professionellen Teilnehmenden zeigten sich hingegen oftmals sehr überrascht über Änderungswünsche, hinterfragten diese dann allerdings nicht, sondern führten sie einfach wie ein Werkzeug aus. Dabei führten sie, wie bereits erwähnt, auch Änderungswünsche aus, die offensichtlich auf ein Verständnisproblem oder Darstellungsprobleme des taktilen Displays zurückzuführen waren, ohne ihr Gegenüber darauf hinzuweisen oder diese zu diskutieren.

### **Nicht-visuelle Interaktion mit dem System**

- Zooming und Panning** Blinde Teilnehmende, die wenig bis gar keine Erfahrung mit taktilen Flächendisplays oder dem *Tangram* System hatten, scheuten sich, Vergrößerungs- und Verkleinerungsfunktionen für die taktile Darstellung zu nutzen. Sie versuchten möglichst lange in einer kleinen Vergrößerungsstufe zu verharren, um die gesamte Grafik oder zumindest große Teile davon betrachten zu können. Dies erschwerte ihnen die Einschätzung der tatsächlichen Gestaltung, da sie eine deutlich verkleinerte Ansicht mit den damit einhergehenden Problemen der Anzeige als Grundlage für ihre Entscheidungen heranzogen.

Bei Zooming oder Panning Operationen verloren einige der unerfahrenen blinden Teilnehmenden den Kontext und fühlten sich in der Grafik verloren. Dadurch wurde das Phänomen verstärkt, dass sie es vermieden solche Operationen einzusetzen. Selbst erfahrene blinde Nutzende verwechselten manchmal die implementierte Panning-Metapher und bewegten den sichtbaren Ausschnitt damit in die falsche Richtung, was ebenfalls dazu führte, dass sie kurzzeitig ihren Kontext und die Orientierung verloren. Zwei Teilnehmende würden sich daher



**Abbildung 6.34:** Pfeilspitzen vor und nach der kollaborativen Überarbeitung (Darstellung in 100 % zur Originalgröße)

ein größeres taktilen Display wünschen, sodass eine Zeichnung im DIN A4 Format sowie die Zusatzinformationen direkt und ohne zusätzliche Navigationsoperationen darstellbar wären.

Der taktile Markierungsrahmen eines zur Bearbeitung angewählten Elementes wurde als nützlich bewertet. Dennoch gaben blinde Teilnehmende an, dass dieses Element die Wahrnehmung der taktilen Gestalt stört. Aus diesem Grund schalteten die meisten Teilnehmenden die blinkende Markierung zeitnah aus, wenn sie das markierte Element identifiziert hatten.

Fokusmarkierung

Keiner der blinden Teilnehmenden unterschied zwischen den beiden angebotenen Markierungsgesten<sup>41</sup> (**Tap**) – eine zur Ausgabe von Objektinformationen (Erkunden) und eine um ein Objekt zur Bearbeitung zu markieren. Die Teilnehmenden entschieden sich ausschließlich für die Auswahl zur Manipulation, selbst wenn sie nur die Annotationen eines Elements abrufen wollten. Eine blinde Person schlug vor, dass man bei der Exploration gleich alle zu einem Objekt verfügbaren Informationen und Annotationen zusammengefasst auditiv ausgeben sollte. Dies würde dem Explorationsmodus mehr Eigenständigkeit verleihen. Derzeit muss man, um die zweistufige Annotation **Description** (Beschreibung) abzurufen, das Element erneut anwählen oder eine Tastenkombination drücken. Die derzeit installierte Handlungsweise entspricht den gängigen Interaktionsmechanismen anderer audio-taktiler Bildbetrachter mit zweistufigen Annotationsmöglichkeiten, wie *IVEO* oder *TTT* (siehe Abschnitt 4.1).

Fokussierung vs. Exploration

## Kollaborative Anpassungen

In den meisten Fällen setzten die sehenden Teilnehmenden die diskutierten Änderungen um. Nur drei blinde Nutzende machten eigene Annotationen zu Elementen (Hinzufügen oder Ändern von **Title** und **Description**). Eine blinde Person setzte sogar die bereitgestellten Bearbeitungsmöglichkeiten ein, um ihre Idee ihrem sehenden Gegenüber zu verdeutlichen und zu visualisieren.

Aktivität

Zusammengefasst konnten während der Evaluation die folgenden Arten an kollaborativen Anpassungen beobachtet werden:

getätigte Anpassungen

- Anpassung von Pfeildarstellungen (6 von 8 Teams, vergleiche Abbildung 6.34)
- Verbreiterung der Konturlinien von Kästen (3 Teams)

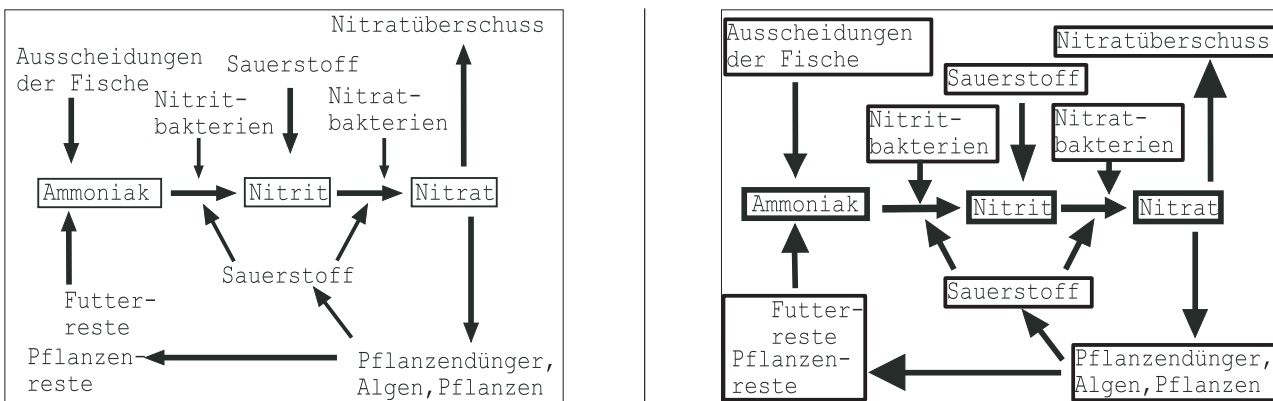
<sup>41</sup> Die beiden Interaktionen unterscheiden sich einzig in der Wahl der initiiierenden Taste links oder rechts der Displayfläche.

- Hinzufügen von Kästen um Text-Labels (2 Teams)
- Vergrößern des Abstandes zwischen zwei Objekten (2 Teams)
- Hinzufügen von Überschriften oder anderem textuellen Kontext (2 Teams)
- Ersetzung von grafischen Elementen durch (Braille-)Text (1 Team)
- Verschiebung von Texten in eine separate Legende (1 Team)
- Veränderung der Gesamtstruktur der Grafik (1 Team – siehe Abbildung 6.35 c und d)

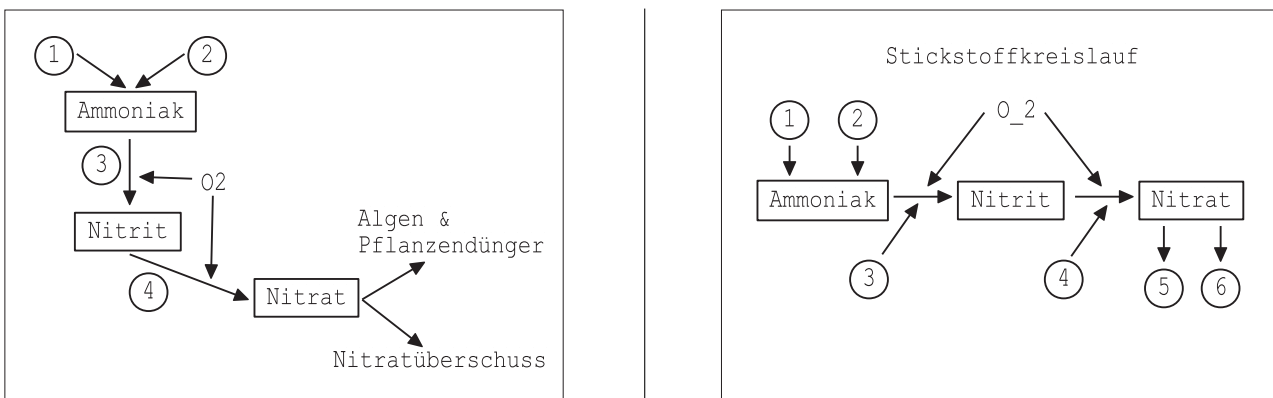
**Anpassung der Darstellung** Fast alle blinden Befragten kritisierten den Einsatz von zu kleinen Pfeilspitzen. Die niedrige Auflösung der Darstellung auf dem taktilen Flächendisplay verstärkte diese gestalterische Problematik nochmals. Am Ende wurden fast alle Grafiken mit deutlich – teils absurd – vergrößerten oder anders geformten Pfeilspitzen produziert (siehe Abbildung 6.34). In einigen Fällen wurden taktile Merkmale, wie Größen oder Linienstärken, deutlich markanter ausgeführt als es für das finale Produktionsmedium (grafikfähiger taktiler Prägedrucker mit 20 dpi Auflösung) notwendig gewesen wäre (siehe Abbildung 6.35 a und b).

In einem Fall wurde die gesamte Struktur der Grafik für eine bessere Lesbarkeit umgestellt (siehe Abbildung 6.35 c und d) – interessanterweise wurden in diesem Fall die Pfeilspitzen *nicht* angepasst. Alle Ergebnisgrafiken der Evaluation finden sich im Anhang dieser Arbeit (Tabelle 2 ab Seite 298).

**Team 4** bestehend aus einer trainierten blinden Person (TB) und einer sehenden Person mit Expertise (ES)



**Team 8** bestehend aus einer trainierten blinden Person (TB) und einem sehenden Laien (LS)



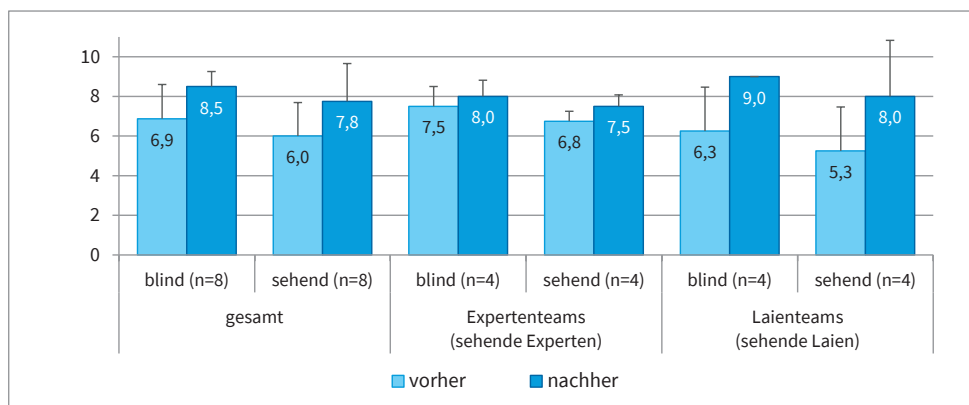
**Abbildung 6.35:** Beispiele von umgesetzten Grafiken vor (links) und nach (rechts) der kollaborativen Überarbeitung (Darstellung in 25 %)



### 6.3.4.3 Bewertung der erstellten Grafiken

Zusätzlich zu der Eigenbewertung der zwei Grafikversionen vor und nach der kollaborativen Überarbeitung durch die Teilnehmenden selbst, welche in Abbildung 6.36 zusammengefasst sind, wurden die Ergebnisse im Nachgang durch weitere unabhängige, sehbehinderte Personen bewertet. Dazu wurden alle 16 Grafiken als taktile Prägedrucke mit einer Auflösung von 20 dpi produziert und zwölf unabhängigen sehbehinderten Personen vorgelegt. Darunter waren sieben geburts- oder früherblindete, drei späterblindete und zwei hochgradig sehbehinderte Personen im Alter von 15 bis 56 Jahren (Durchschnittsalter 34 Jahre; SD 11,0) – sechs Personen sind weiblich. Alle können Braille lesen und haben sich in der Selbsteinschätzung für ihre Erfahrung mit taktilen Grafiken (0 = *keine*, 1 = *sehr wenig* bis 5 = *sehr viel*) mit mindestens 3 (*mittel*) bewertet ( $\bar{x}$  3,7 und SD 1,2). Zwei Teilnehmende bewerteten jeweils nur eine Auswahl von acht Grafiken (von vier Teams jeweils vor und nach der Überarbeitung). Somit ergeben sich elf unabhängige Bewertungen pro Grafik beziehungsweise Grafikpaarung.

Selbstbewertung  
vs.  
Fremdbewertung



**Abbildung 6.36:** Eigenbewertung der Grafikversionen vor und nach der kollaborativen Überarbeitung – gesamt und nach Expertise des sehenden Teilnehmenden aufgeschlüsselt (Skala von 0 = *sehr schlecht* bis 10 = *sehr gut*; Mittelwerte und Standardabweichungen)

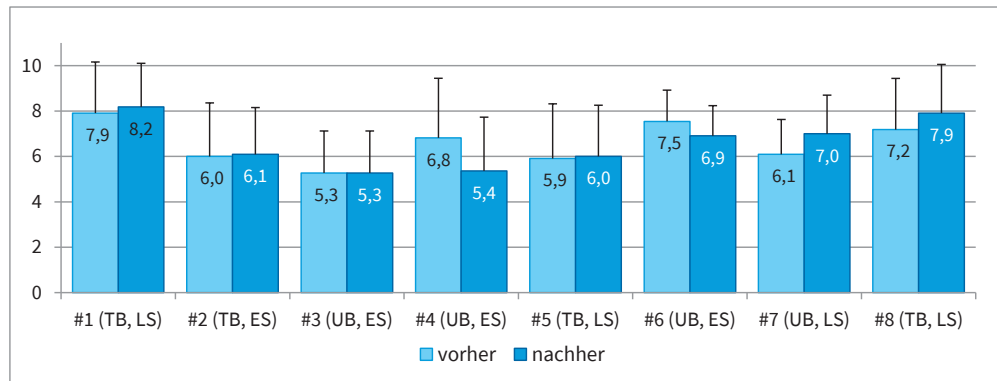
Drei der Bewertungen wurden vor Ort durch einen Testleiter begleitet, die restlichen fanden auf postalischem Weg statt. Die Reihenfolge der vorgelegten Bilder wurde randomisiert. Die Rückmeldungen erfolgten mittels elektronisch ausgefüllten zugänglichen Fragebogen. Bewertet werden sollte, wie gut die Befragten die Qualität der einzelnen Grafiken auf einer Skala von 0 (*sehr schlecht*) bis 10 (*sehr gut*) einschätzen würden<sup>42</sup>. Zusätzlich zu den Grafiken wurde den Bewertenden der Kontext zur Grafik sowie eine Beschreibung der Originalgrafik vorgelegt.

Ablauf der  
Fremdbewertung

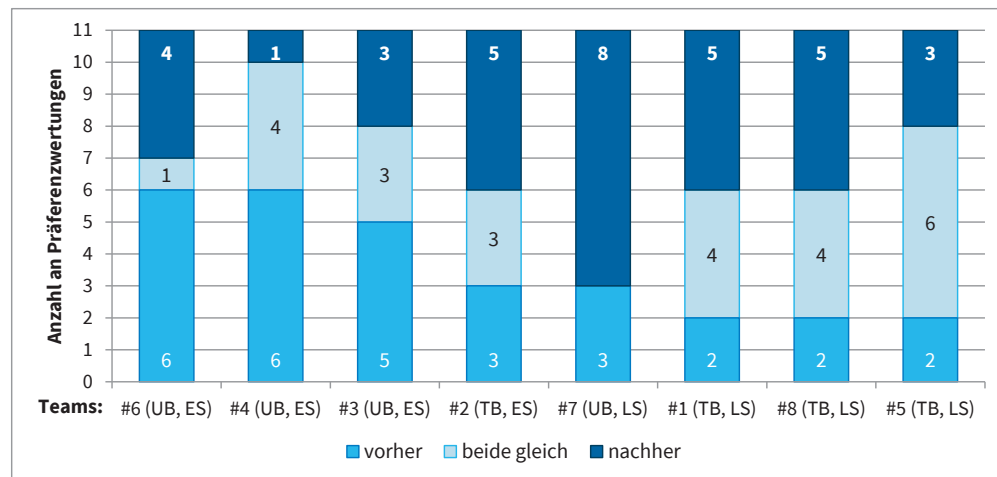
Die Ergebnisse der Bewertungen durch die unabhängigen, externen sehbehinderten Personen sind in Abbildung 6.37 zusammengefasst. Abbildung 6.38 zeigt daraus abgeleitet, welche der beiden Varianten (vor oder nach der kollaborativen Überarbeitung) von den Bewertenden bevorzugt wird. Im Gegensatz zu den Selbstbewertungen aus Abbildung 6.36, in denen alle Teilnehmenden die überarbeitete Version als zumindest gleich gut bewerteten, zeigt sich bei den unabhängigen Bewertungen keine generell positive Präferenz für die überarbeitete Version.

Ergebnisse

<sup>42</sup> **Aufgabenstellung:** [...] Ihre Aufgabe besteht darin, die Qualität der taktilen Umsetzungen zu bewerten. Für jede Grafik sollen Sie eine Bewertung auf einer Skala von 0 (*sehr schlecht*) bis 10 (*sehr gut*) abgeben. Bedenken Sie dabei vor allem wie gut die taktile Darstellung der einzelnen Objekte gelungen ist (Größen, Linien, Abstände usw.), wie gut die allgemeine Struktur der Grafik ist und wie gut die Grafik dabei hilft, den gezeigten Inhalt zu verstehen.



**Abbildung 6.37:** Bewertung der taktilen Grafiken vor und nach der kollaborativen Überarbeitung durch externe Gutachter (Skala von 0 = *sehr schlecht* bis 10 = *sehr gut*; Mittelwerte und Standardabweichungen;  $n = 11$ ) – UB = *untrainiert blind*, TB = *trainiert blind*, ES = *Experte / Expertin sehend*, LS = *Laie sehend*



**Abbildung 6.38:** Präferenz der externen Bewertenden für eine Version der umgesetzten Grafik ( $n = 11$ ) – UB = *untrainiert blind*, TB = *trainiert blind*, ES = *Experte / Expertin sehend*, LS = *Laie sehend*

## 6.4 Fazit und Diskussion

**taktile Anzeige und Transfer** Immer wieder wurde die geringe Auflösung des taktilen Displays kritisiert – vor allem von unerfahrenen Nutzenden. Es ist jedoch durch die Evaluation evident geworden, dass es fast allen blinden Teilnehmenden schwergefallen ist einzuschätzen, wie sich die taktile Gestalt von Objekten auf dem niedrig auflösenden taktilen Flächendisplay auf einem höher auflösenden taktilen Medium darstellen würde. Es benötigt also deutlich mehr Erfahrungswerte, um diese mentale Transformation in Entscheidungen und Empfehlungen mit einzubeziehen. In den meisten Fällen beruhten die getroffenen Entscheidungen der blinden Teilnehmenden auf der niedrigen Auflösung des taktilen Displays, in einigen Fällen sogar auf einer deutlich verkleinerten Anzeige (Zoomstufe). In der nachfolgenden Bewertung gaben einige blinde Teilnehmende an, dass sich der taktile Eindruck der einzelnen Elemente auf den beiden Medien grundsätzlich unterscheiden würde und sie sich eventuell anders entschieden hätten.

**Selbst- vs. Fremdeinschätzung** Darüber hinaus zeigen die unabhängigen externen Bewertungen, dass das Verständnis von einer guten taktilen Grafik stark subjektiv ist. Während einige Paarungen ihre Grafik als sehr gut bewerteten, wurden diese durch externe Begutachtungen eher abgewertet (Team 2, 3, 4, 5 und 7) und anders herum (Team 1). Zudem führten aus besagten Gründen in

manchen Fällen die kollaborativen Überarbeitungen offensichtlich nicht zu Verbesserungen der Qualität der finalen Grafiken, sondern verschlechterten diese (Team 4 und 6). Dennoch wurde im Durchschnitt bei fünf von acht Paarungen die Qualität der finalen Grafik durch den Einsatz des kollaborativen Arbeitsplatzes verbessert (Team 1, 2, 5, 7 und 8).

Letztendlich ermöglicht der kollaborative Zeichenarbeitsplatz eine gemeinsame Diskussion über grundlegende Strukturen, Aussagen oder die Gesamtkomposition, welche für eine gute Lesbarkeit und das Verständnis einer taktilen Grafik ebenso eine wichtige Rolle spielen. Des Weiteren bleibt festzuhalten: Wenn Grafiken und all ihre Elemente auf einem niedrig auflösenden Display gut erkennbar und verständlich sind, lassen sich diese auch auf höher auflösenden taktilen Medien gut darstellen, auch wenn sie deren Potentiale nicht ausschöpfen. Zudem ermöglicht die Ausrichtung auf ein grobes taktilen Medium auch die Produktion auf ebenso niedrig auflösenden Prägedruckern, wie Braille-Text-Druckern, die aus eigener Erfahrung deutlich verbreiteter sind als grafikfähige taktile Prägedrucker.

Komposition und Darstellung

Neben den rein auf die taktile Anzeige bezogenen Nachteilen kann eine lektorierende sehbehinderte Person natürlich keine Aussagen über die Güte der Transkription oder Originaltreue sowie Übertragungs- oder Übersetzungsfehler aus der visuellen Grafik treffen. Ihr bleibt weiterhin meist der Zugang zum Original verwehrt.

Limitierungen

Es wurde klar, dass nicht jede Paarung in der Evaluation zum erwünschten Erfolg führt. In der beobachteten Stichprobe zeigte sich, dass Paarungen aus blinden Menschen mit wenig Erfahrung mit taktilen Grafiken und taktilen Flächendisplays mit sehenden Personen, die Erfahrung in der Umsetzung von taktilen Grafiken haben, ihr Ergebnis verschlechtert haben. Ob dieses Ergebnis durch eine generelle Ablehnung des Arbeitsplatzes, des propagierten Qualitätsmanagementsystems durch *Peer-Reviewing* oder eine falsch verstandene Ausführung der Testaufgaben durch die sehenden Teilnehmenden begründet ist, ist schwer zu beurteilen. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass wenn die sehenden Experten und Expertinnen ihre professionelle Meinung vertreten und ihre unerfahrenen blinden Partner nach bestem Wissen beraten und zielgerichtet diskutiert hätten, wären die Ergebnisse sicherlich besser ausgefallen. Im Gegensatz dazu konnten sehende Laien deutlich von den Erfahrungen blinder Teilnehmender profitieren, was sich in einer deutlichen Verbesserung der finalen Grafiken zeigt.

Einfluss der Teamzusammensetzung

Als weiteres Ergebnis der Evaluation kann festgehalten werden, dass der kollaborative Korrekturprozess einen erhöhten Zeitbedarf mit sich bringt. Allerdings muss hier noch mit in Betracht gezogen werden, dass initial relativ viel Zeit in die Einführung und in das Erlernen des Systems und seinen Möglichkeiten investiert wurde. Im tatsächlichen Einsatz, wie auch im durchgeführten Test, nimmt danach die Phase des taktilen Erkundens und Verstehens der Grafik durch die blinde Person ebenfalls viel Zeit in Anspruch. Diese Phase ist jedoch essentiell für das Verständnis der Darstellung und deren Bewertung. Der Zeitaufwand wird sich daher kaum reduzieren lassen. Im produktiven Einsatz wird es nicht praktikabel sein, einen solchen kompletten kollaborativen Ansatz für alle Grafiken eines Buches zu durchlaufen. Dennoch wäre dies wünschenswert, da die Testergebnisse auch zeigen konnten, dass selbst professionelle Grafikautoren und -autorinnen vom *Peer-Reviewing* Ansatz profitieren können.

Aufwand

Darüber hinaus scheint es zielführend zu sein, sehende Laien bei ihren Grafiktranskriptionen durch eine blinde Person mit viel Erfahrung begleiten und anleiten zu lassen. Sollte sich der Prozess nicht für alle Grafiken installieren lassen, so ist es ebenso vorstellbar, diesen zumindest für die Ausgestaltung immer wieder auftretender (Teil-)Darstellungen, die anschließend weiterverwendet werden, oder im Bedarfsfall bei Problemen, in denen Transkribierende eine kollaborative Überprüfung selbst anfordern, durchzuführen. Dies setzt jedoch eine selbstkritische Haltung voraus, die im durchgeführten Test leider nicht bei jedem sehenden Teilnehmenden mit Expertise beobachtet werden konnte.

mögliche Einsatzszenarien

Hypothesen- Final lassen sich für die Hypothesen 2 und 3 nach dem Test folgende Schlussfolgerungen  
bewertung treffen:

### Hypothese 2

*Das Bewerten durch blinde Lektoren und Lektorinnen während des Erstellungsprozesses mittels eines kollaborativen Zeichenarbeitsplatzes mit taktiler Interaktion kann die Qualität von damit erstellten taktilen Grafiken verbessern.*

Die Hypothese kann unter der Annahme bestätigt werden, dass eingebundene blinde Lektoren oder Lektorinnen Erfahrung mit taktilen Grafiken und im Speziellen im Umgang mit taktilen Flächendisplays haben. Dabei können insbesondere unerfahrene sehende Grafikautoren und -autorinnen vom kollaborativen Ansatz profitieren. Für den Qualitätseindruck der Ausgestaltung einer taktilen Grafik sind jedoch individuelle Präferenzen und das jeweilige Ästhetikempfinden der Lesenden mit entscheidend, denen eine lektorierende sehbehinderte Person möglichst generell Rechnung tragen muss.

### Hypothese 3

*Blinde und sehbehinderte Leser und Leserinnen können die mit dem Arbeitsplatz erstellten taktilen Grafiken in höherer Auflösung lesen und verstehen.*

Die Hypothese konnte bestätigt werden. Keine teilnehmende oder bewertende sehbehinderte Person hatte generelle Schwierigkeiten, die taktilen Grafiken in erhöhter Auflösung (von 10 auf 20 dpi) zu lesen oder zu verstehen. Der mentale Transfer einer sehbehinderten lektorierenden Person von einer groben zu einer verfeinerten taktilen Darstellung – wie dies beim kollaborativen Zeichenarbeitsplatz notwendig ist – ist schwierig und setzt Erfahrungswerte voraus, wie sich die taktile Gestalt von Elementen bei einer Erhöhung der Auflösung verändern wird.

Ausblick Noch einmal bleibt festzuhalten, dass durch mehrere blinde Teilnehmende der Wunsch und Bedarf nach einem autonomen und selbständigen Erstellen von Grafiken geäußert wurde. Ebenso wurde deutlich, dass sich der kollaborative Zeichenarbeitsplatz hervorragend dazu eignet, Grafiken für blinde Menschen zugänglich zu machen, im Speziellen, wenn sie bei der Erkundung durch eine erklärende Person unterstützt werden. Für Schulungs- oder Lernszenarien ist dies ein weiterer und wertvoller Einsatzzweck. Viele blinde Teilnehmenden erklärten, dass sie durch die gemeinsame Betrachtung der Grafiken ein schnelleres und besseres Verständnis für die Darstellung und den zu transportierenden Inhalt erhalten haben. Natürlich kann der zugängliche Arbeitsplatz auch dazu herangezogen werden, einfach und schnell eine bildliche Skizze von Sachverhalten mit einer blinden Person zu teilen.

# Multimodales Zeichenprogramm für blinde Menschen

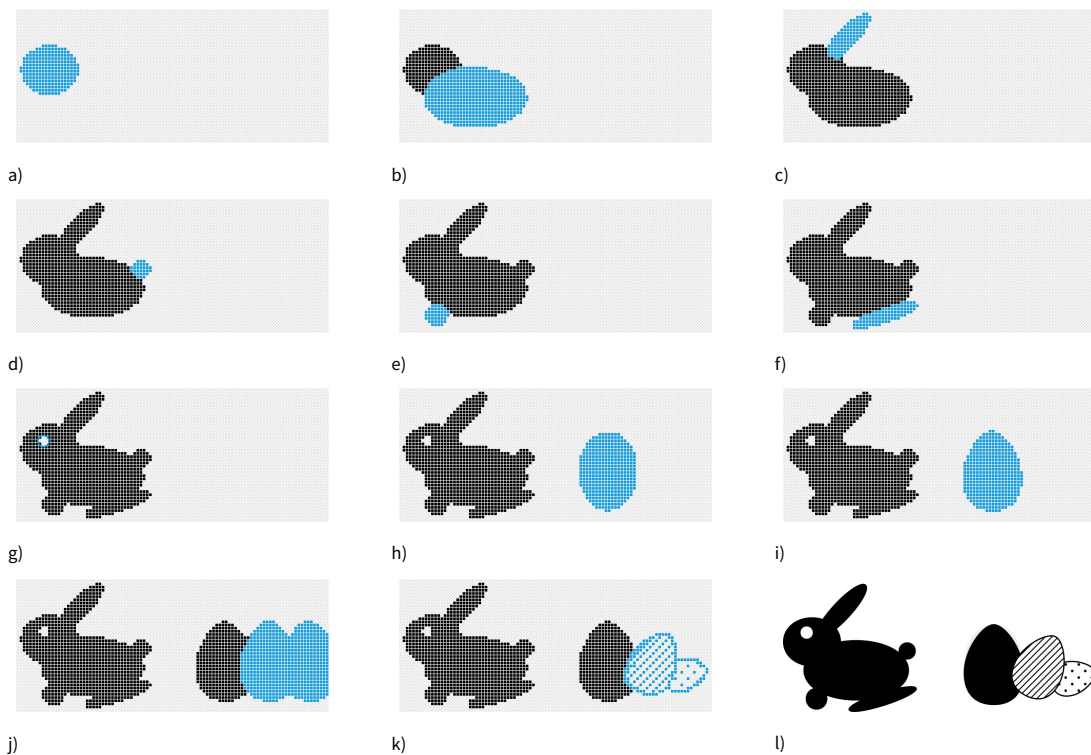
---

Im Rahmen des Qualitätssicherungsprozesses, welcher im vorangegangenen Kapitel 6 – *Kollaborative Erstellung taktiler Grafiken* beschrieben wurde, war es Nutzenden über die nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle lediglich möglich, bestehende Zeichnungen zu verändern. Dies geschieht durch Manipulation, Annotation oder Entfernen von bereits in eine Zeichnung eingefügter grafischer Elemente. Um nun einer hochgradig sehbehinderten oder blinden Person die Erstellung von Zeichnungen auf einem leeren (virtuellen) Blatt Papier zu ermöglichen, sind Methoden und Interaktionstechniken zur Erzeugung und Platzierung grafischer Elemente in eine Zeichnung notwendig.

In diesem Kapitel werden vier Erweiterungen des kollaborativen Zeichenarbeitsplatzes vorgestellt, die unter anderem eine initiale Formenerzeugung ermöglichen. Dabei werden redundante und auf verschiedenen Eingabemodalitäten beruhende Interaktionskonzepte installiert. In Kombination mit der unmittelbaren taktilen Ausgabe auf einem flächig-taktilen Display in Echtzeit, erweitern diese Konzepte den kollaborativen *Tangram* Arbeitsplatz zu einem umfangreichen Zeichenwerkzeug für blinde Nutzende.

In einer vergleichenden Evaluation der einzelnen angebotenen Zeichenmodalitäten werden Präferenzen von Nutzenden ermittelt sowie die Effektivität des Zeichenarbeitsplatzes evaluiert. Darüber hinaus wird gezeigt, dass mit Hilfe des Arbeitsplatzes auch blinde Menschen Grafiken in guter Qualität erstellen können. Die Evaluation soll damit der Beantwortung von **Forschungsfrage 2** – „Welche Interaktionstechniken eignen sich für blinde Menschen, um am Computer Bilder zu erstellen?“ – sowie der **Hypothesen 4** bis **8** dienen.





**Abbildung 7.1:** Schrittweise Konstruktion einer komplexen Grafik aus einzelnen Basiselementen als taktile Darstellung auf einem binären Punktdisplay – die jeweiligen Änderungen in einem Schritt sind blau markiert

## 7.1 Nicht-visuelles Zeichnen mit dem Tangram Arbeitsplatz

**Konstruktion von Grafiken** Die dem zugänglichen Zeichenarbeitsplatz zugrundeliegende Methode zum Erstellen einer Zeichnung durch eine blinde oder sehbehinderte Person folgt im Grunde dem Handeln einer sehenden Person in einem Vektorgrafikprogramm. Das heißt, es werden einzelne Elemente in eine Grafik eingefügt, um daraus die Gesamtgrafik zu komponieren. Dazu werden entweder vorbereitete komplexe Grafikelemente eingefügt oder es werden einfache geometrische Formen – sogenannte Primitive – erzeugt und zu komplexeren Formen und Darstellungen zusammengesetzt. Die Erzeugung von Freiformen in Form von Polygonen (Vielecken) oder Bézier-Kurven [Béz68] (gekrümmte Freiformen) erlaubt darüber hinaus eine vereinfachte Erstellung komplexer Formen, die sich nicht aus einzelnen geometrischen Primitiven zusammensetzen lassen. Abschließend werden diese initialen Grafikelemente in Form, Aussehen, Größe und Position angepasst und mit anderen Elementen kombiniert, sodass sich daraus eine komplexe Darstellung entwickelt. Abbildung 7.1 zeigt ein einfaches Beispiel einer solchen Evolution. Grafiken werden somit eher konstruiert denn gezeichnet.

**Kombination von Formen und taktile Gestalt** ROBINSON zeigte mit seiner *Progressive Step Methode* [Rob07], dass auch blinden Menschen die schrittweise Konstruktion von Grafiken nähergebracht werden kann. Dennoch basieren diese Konstruktionen oft auch auf optischen Phänomenen, die die Gestalt – auch die taktile – einer Form beeinflussen und verändern. Dazu zählen unter anderem Verdeckung (siehe Abbildung 7.1 k), Vereinigung (siehe Abbildung 7.1 a – f), Subtraktion (siehe Abbildung 7.1 g) und verschiedene Zustände der Durchsichtigkeit (Opazität). Auch solche Mechanismen, die stark davon abhängig sind, in welcher Reihenfolge sich grafische Elemente überlagern, sind natürlich mit dem taktilen Zeichenarbeitsplatz möglich. Dazu zählt auch, dass sich die Überlagerungsreihenfolge frei anpassen und verändern lässt. Gerade in der Gestaltung

binärer<sup>1</sup> Grafiken, lassen sich solche Methoden besonders einfach realisieren. Das Wissen um die Funktionsweise solcher Phänomene, die zur Gestaltung ausgenutzt werden können, ist jedoch nicht intuitiv. Gerade geburtsblinden Menschen sind diese Konzepte erst einmal fremd, konnten aber bereits mithilfe des *Tangram* Zeichenarbeitsplatzes erfolgreich vermittelt werden.

Im Folgenden werden einige unterschiedliche Modalitäten und Interaktionstechniken zur Erzeugung solcher initialer Grafikelemente vorgestellt. Diese können nach ihrer Erzeugung weiterbearbeitet und angepasst werden. Dazu stehen über das nicht-visuelle Interface unter anderem die in Abschnitt 6.1.2.3 beschriebenen Möglichkeiten zur Grafikmanipulation zur Verfügung.

## 7.2 Zeichenmethoden

Der Umgang mit einer Anwendung ist immer auch an das Können des Nutzenden, dessen Erfahrung oder an die zu erfüllende Aufgabe gebunden. Redundante Zugangsmöglichkeiten zu Funktionalitäten, die ein unterschiedliches Niveau an Wissen oder Können voraussetzen oder an eine spezielle Aufgabe besser angepasst sind, sind in der Praxis weit verbreitet. Sie dienen oft dazu, die Effizienz von trainierten Nutzenden zu steigern oder unerfahrene Nutzende im Umgang mit einer Anwendung zu unterstützen. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Möglichkeiten zur Erzeugung von Grafikelementen mit dem *Tangram* Arbeitsplatz durch eine blinde oder hochgradig sehbehinderte Person verfolgen ebenfalls genau diese beiden Grundabsichten. Einige stellen einen robusten und fehlertoleranten, jedoch im Umfang beschränkten Zugang bereit, andere sind komplex in der Handhabung, eröffnen darüber jedoch ein Höchstmaß an grafischen Freiheiten. Ziel ist es, sich eine Methode wählen zu können, die sowohl für die jeweilige Aufgabe als auch für die individuellen Fähigkeiten oder Präferenzen angemessen ist – die Methoden also frei miteinander zu kombinieren.

Alle hier vorgestellten Zeichenmethoden sind als Erweiterungen des kollaborativen *Tangram* Zeichenarbeitsplatzes aus dem vorangegangenen Kapitel implementiert und nutzen dessen API (vergleiche Abschnitt 6.2.2.4). Es besteht somit für sehbehinderte Nutzende jeder Zeit die Möglichkeit, eine sehende Person in die Zeichenaktivitäten einzubeziehen und umgekehrt. Durch die angebotenen erweiterten Grafikbearbeitungsmethoden werden zudem die Kompetenzen von blinden und sehbehinderten Lektorierenden gestärkt und weiter ausgebaut.

Erweiterungen

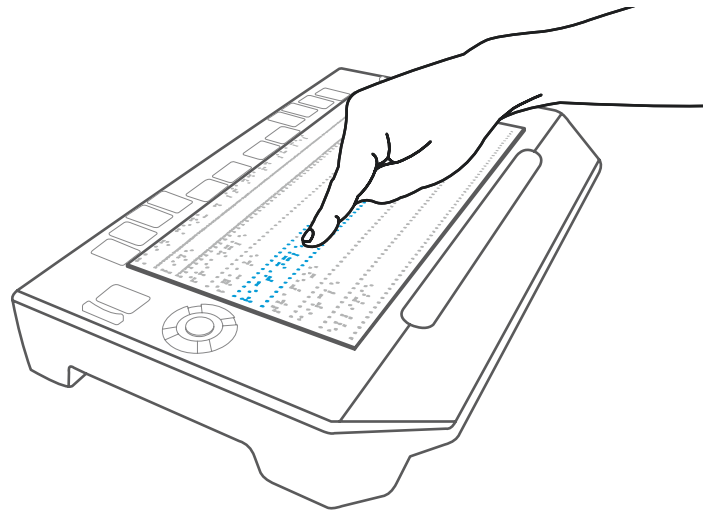
Die beschriebenen Interaktionskonzepte, im Speziellen die erwähnten Belegungen von Hardwaretasten, geben die Standardbelegung an, wie sie auch in der in Abschnitt 7.3 beschriebenen Evaluation genutzt wurde. Diese orientiert sich vor allem an den neueren Geräten der *BrailleDis* beziehungsweise *HyperBraille* Serie (siehe Abschnitt 3.2.2.2) sowie des virtuellen *Debug-Monitors ShowOffAdapter* (siehe Abschnitt 6.2.1.1). Eine abweichende Tastenbelegung und ein damit verändertes Interaktionskonzept kann mittels der in Abschnitt 6.1.2.2 beschriebenen Konfigurationsmöglichkeit für die Tastenbedienung an abweichende Hardware oder Nutzerbedürfnisse und Präferenzen angepasst werden.

Beschreibung der Interaktion

---

<sup>1</sup> zweifarbig – z. B. schwarz und weiß

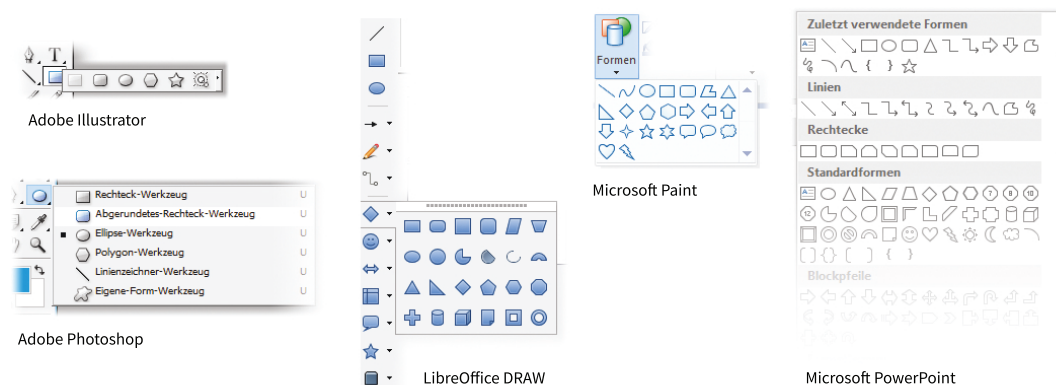




## 7.2.1 Menü

**Paletten von Standardformen** Das in dieser Arbeit propagierte Konzept der Konstruktion von Zeichnungen aus einzelnen Grundformen, die zu komplexeren Darstellungen kombiniert werden, kann natürlich auf geometrische Grundformen, sogenannte grafische Primitive, als Basis zurückgreifen. Gängiges Konzept, um solche Basisformen in Grafikprogrammen mit einer GUI anzubieten, sind Werkzeugpaletten, in denen die gewünschte Form ausgewählt wird. Diese wird anschließend auf der Zeichenfläche platziert und – entweder gleich beim Platzieren oder nachträglich – mittels direkter Manipulation in Form, Größe und Position angepasst.

Eine solche Formenpalette, die sich oft durch den Einsatz von visuellen Icons auszeichnet (vergleiche Abbildung 7.2), stellt im Grunde nur eine Art von Menü dar. Auch blinde und sehbehinderte Menschen sind im Umgang mit dem PC an Menüstrukturen und deren Bedienung gewöhnt. Es liegt also nahe, das robuste und fehlertolerante Steuerelement Menü zur Auswahl von Formen auch beim nicht-visuellen Interface einzusetzen.



**Abbildung 7.2:** Beispiele für Formenpaletten in Bildbearbeitungsprogrammen mit GUI

Im Gegensatz zur gängigen visuellen GUI-Variante mit Icons sind grafische Marker für ein taktiles Interface nur bedingt geeignet. Es wird stattdessen auf hauptsächlich textbasierte Einträge gesetzt. Wie von mehreren blinden Befragten bestätigt (unter anderem in [sSch16]), sind taktil-grafische Einträge (*Tactons*) nicht sehr effizient zu nutzen, da sie nicht standardisiert sind und man sie eventuell jedes Mal neu erkunden, erkennen und anschließend auf deren Funktion schließen muss. Textuelle Einträge haben den Vorteil, dass sie ihre Funktion direkt sprachlich angeben können. Dies kann bei geeigneter und selbstbeschreibender Wahl der Benennung unerfahrenen Nutzenden helfen, eine Anwendung zu erlernen und gesuchte Funktionen zu finden. Sollte die Funktion oder deren Anwendung nicht aussagekräftig oder intuitiv sein, lässt sich diese mit Hilfetexten erweitern. All dies führt zu der in **Hypothese 4** formulierten Annahme: „Mittels Text-Menü können blinde Menschen effizient und robust taktile Grafiken aus vorgegebenen Formen selbst erstellen“.

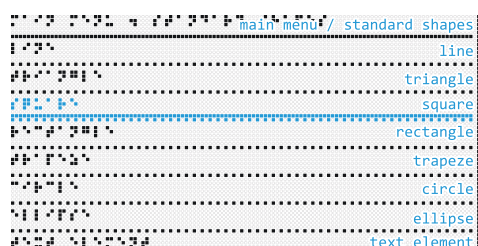
Braille-Text-Menüs

Die hier beschriebenen Menüs wurden mit den in Abschnitt 6.2.1.4 beschriebenen Menü-Steuerelementen für das taktile Flächendisplay umgesetzt. Jeder Menüeintrag enthält, wie angesprochen, einen separat abrufbaren Hilfetext, der die Funktion und eventuell deren Anwendung näher beschreibt. Alle textuellen Inhalte können auch auditiv mittels TTS ausgegeben werden. Dies geschieht automatisch beim Anspringen des jeweiligen Eintrags beziehungsweise beim Abrufen des Hilfetexts. Die Menüs können mittels Hardwaretasten am taktilen Display oder mittels Auswahlgesten (**Tap**) gesteuert werden. Die Auswahl und das Auslösen von Funktionen, sowie die Navigation innerhalb von verschachtelten Menüstrukturen (Untermenüs), werden mit Hilfe von Cursor-Kreuzen oder Joysticks besonders intuitiv. Das Menü selbst wird mit derselben Hardwaretaste wie das in Abschnitt 6.1.2.3 beschriebene Rotationsmenü für die Bearbeitungsmodi existierender Grafikelemente aufgerufen, wenn kein Zeichenelement zur Bearbeitung angewählt ist.

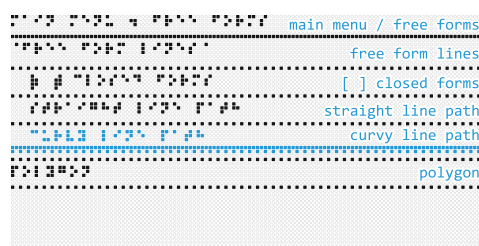
Die Braille-Text-Menüs sind hierarchisch organisiert. Eine Pfadnavigation (*Breadcrumb*) in der obersten Zeile der taktilen Darstellung hilft, die aktuelle Position im Menübaum zu identifizieren. Neben zwei Menüs für das Zeichnen von Elementen (siehe Abbildung 7.3) wird ein Untermenü für die Konfiguration der erstellten Elemente angeboten. Dazu zählt unter anderem, mit welcher Füllung (schwarz oder weiß) neue Elemente initial eingefügt werden.

Im ersten von zwei Untermenüs zur Erzeugung von Formen werden einige wenige Basisformen angeboten (u. a. Linie, Kreis, Ellipse, Rechteck, Dreieck, Trapez – vergleiche Abbildung 7.3 a). Nach der Auswahl eines Menüeintrags wird die damit verknüpfte Form mittig im sichtbaren taktilen Ausschnitt des Zeichenblattes platziert (vergleiche Abbildung 7.4 a – c). Dabei nimmt die gewählte Form in der Größe etwa 50 % des zur Verfügung stehenden Platzes ein. Die Größe der eingefügten Form ist somit von der gewählten Zoomstufe der taktilen Ansicht abhängig. Dies soll gewährleisten, dass Formen auf jeden Fall auf dem taktilen Display zu sehen sind. Durch geeignete Wahl des Ausschnitts und der Vergrößerungs- beziehungsweise Verkleinerungsstufe haben Nutzende damit die Möglichkeit, die Initialgröße von neuen Formen zu beeinflussen.

Standardformen



a) Menü für Standardformen

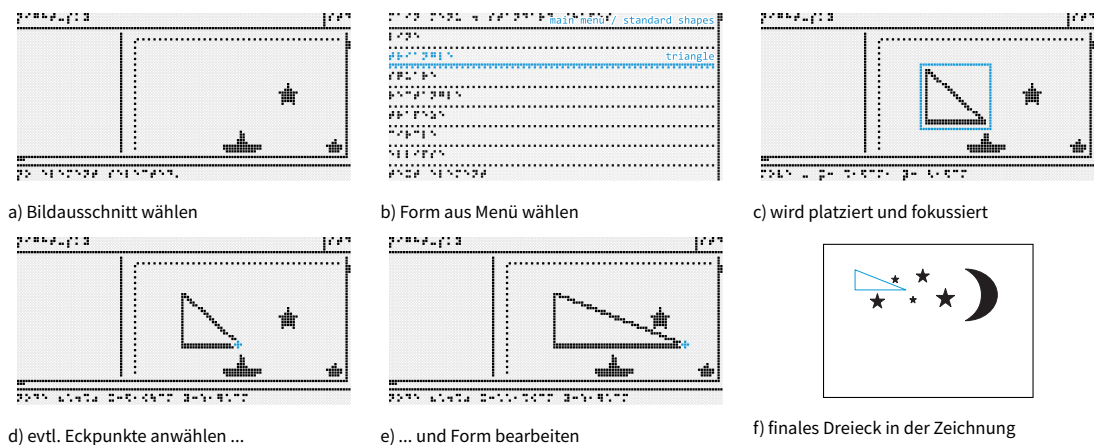


b) Menü für Freiformen

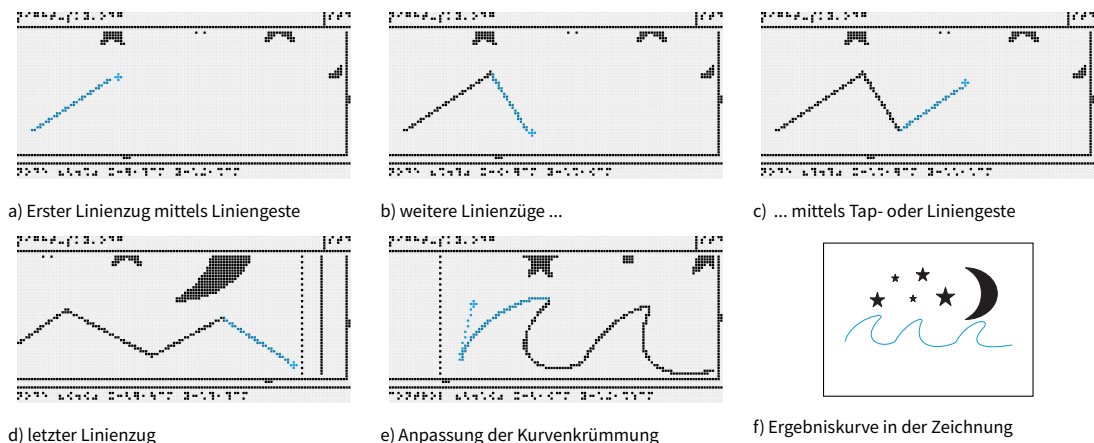
**Abbildung 7.3:** Braille-Text-Menüs zur Erzeugung von Formen

Eine neu eingefügte Form wird automatisch zur weiteren Bearbeitung markiert. Während einige Primitive, wie Kreis oder Rechteck, als entsprechendes DOM-Pendant eingefügt werden, werden andere, wie das Dreieck oder das Trapez, als Vielecke (Polygone) mit veränderlichen Eckpunkten eingefügt. Dies ermöglicht die höchstmögliche nachträgliche Anpassbarkeit der (Frei-)Form (siehe Abbildung 7.4 d – e). So wird beispielsweise beim Dreieck initial ein gleichschenkliges und rechtwinkliges Dreieck platziert, da dies die am schwersten manuell zu produzierenden Eigenschaften eines Dreiecks bereitstellt. Anpassungen können dann entweder durch Manipulation der gesamten Form (Rotation, Skalierung, etc.) oder durch Verschieben der einzelnen individuellen Eckpunkte erfolgen.

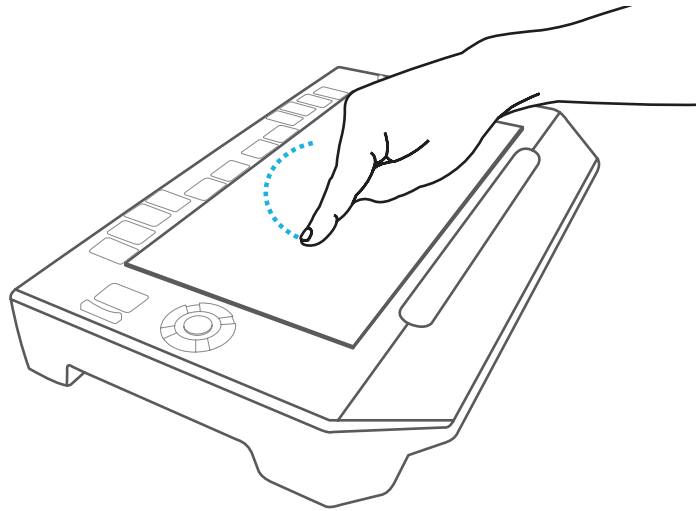
**Freiformen** Im zweiten Menü wird das Erzeugen von Freiformen angeboten (siehe Abbildung 7.3 b). Dabei kann jeweils zwischen geschlossenen oder offenen Pfaden als Polygon mit geraden Verbindungen oder Bézier-Kurve mit gekrümmten Verbindungen gewählt werden. Nach Auswahl des entsprechenden Objektzeichenmodus müssen die einzelnen Eckpunkte der Form mittels Gesten eingegeben werden (siehe Abbildung 7.5). Dazu können Zeigegesten (**Tap**) oder einzelne Liniengesten genutzt werden. Abschließend können wieder alle Eckpunkte sowie eventuell verfügbare Kontrollpunkte zur Anpassung von Kurvenkrümmungen frei bearbeitet (siehe Abbildung 7.5 e) oder wieder entfernt werden.



**Abbildung 7.4:** Schrittweises Einfügen und Anpassen eines Dreiecks mittels Braille-Text-Menü



**Abbildung 7.5:** Schrittweise Eingabe einer Bézier-Kurve mittels Tap- und Liniengesten mit anschließender Bearbeitung der Krümmung auf einem taktilem Ausgabegerät



### 7.2.2 Gesten

Bereits im Basisframework *BrailleIO* ist ein einfacher Gestenerkennung integriert (vergleiche Abschnitt 6.2.1.2), der es – wie im vorherigen Abschnitt beschrieben – erlaubt mittels einfacher Zeige- und Liniengesten Zeichenoperationen durchzuführen. Diese Art der Eingabe – sollte sie durch die angeschlossene Hardware unterstützt werden – erlaubt einen sehr direkten und intuitiven Zugang zum Zeichnen. Der *Midas-Touch Effekt* (siehe Abschnitt 2.3.2) verhindert jedoch das effektive Zeichnen mittels Finger bei gleichzeitiger und unmittelbarer taktiler Ausgabe. Das bedeutet, Freihandzeichnen auf einer berührungsempfindlichen taktilen Ausgabefläche, auf der gleichzeitig eine kontinuierliche taktile Rückmeldung über das gerade Gezeichnete mit einer zweiten Hand erfahrbare wird, ist äußerst schwierig zu realisieren.

Ein Kompromiss könnte darin bestehen, dass abstrakte Zeichengesten, die keiner zusätzlichen Kontrolle während der Ausführung bedürfen, zur Erzeugung vordefinierter Formen eingesetzt werden. Damit ließen sich Formen genauer an ihrer angedachten Position in der Zeichnung platzieren und zudem in Größe und Ausrichtung initial besser dem gewünschten Ergebnis annähern. Letzteres ist jedoch nur dann möglich, wenn durch einen eingesetzten Gestenerkennung zusätzliche Informationen zur Gestenausführung, wie Ausdehnung, Rotation oder Start- und Endpunkt, ausgewertet und zurückgeliefert werden.

Gesten statt Menüs

Im Gegensatz zu den im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Text-Menüs entfällt so nicht nur das Suchen und Navigieren durch hierarchische Listen, sondern es könnten potentiell auch die daran anschließenden Bearbeitungsschritte zur Anpassung der platzierten Form reduziert werden. Diese Überlegungen führen zur **Hypothese 5**: „Mittels Gesten können blinde Menschen einen effizienten und örtlichen Zugang zum Zeichnen vorgegebener Formen erhalten“.

Der Basisgestenerkennung des *BrailleIO*-Frameworks ist für diesen Einsatzzweck zu stark reglementiert. Darum wurde ein erweiterter, templatebasierter Gestenerkennung von SCHMIDT [Sch14] hinzugenommen. Der templatebasierte Ansatz hat den Vorteil, dass der Gestenerkennung theoretisch mit beliebigen Arten und Ausführungen von Gesten frei trainiert werden

Gestenerkennung

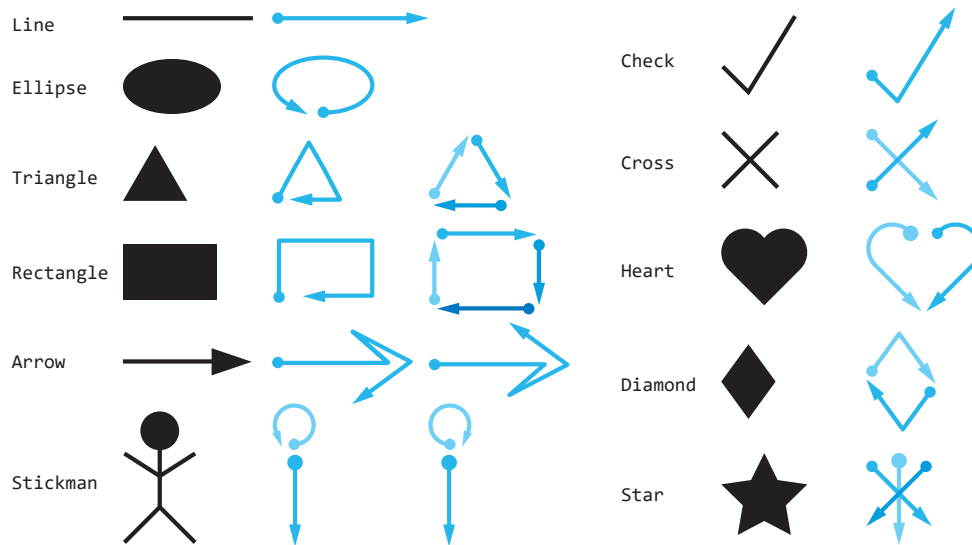
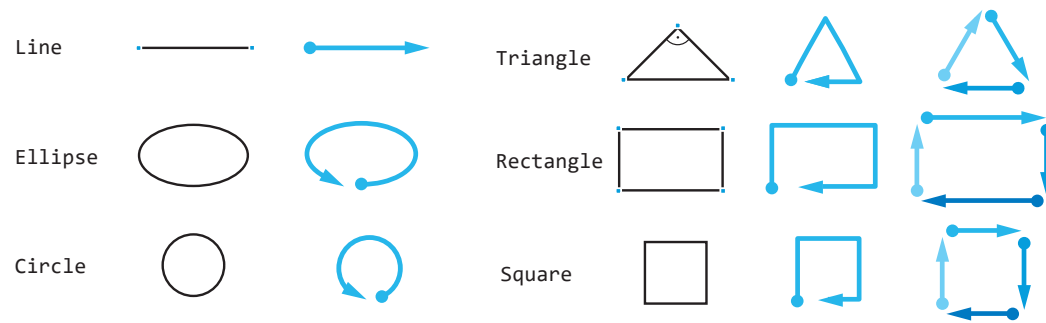


Abbildung 7.6: Mögliche Formenpalette mit zugehörigen Zeichengesten nach [sBey17, S. 59]

kann. Zudem können die Trainingsgesten an Nutzende selbst und deren individuelle Ausführungen angepasst werden. Dies ist insbesondere bei blinden Menschen von Vorteil, da sie oft Schwierigkeiten haben, komplexe und figurale Gesten präzise auszuführen (siehe dazu Abschnitt 2.3.3). Gerade die starke Ähnlichkeit zwischen der auszuführenden Geste und der damit verbundenen entstehenden Form scheint jedoch für Zeichenoperationen besonders gut geeignet. Die Möglichkeit, die Ausführung einer solchen figural anmutenden Geste an sein eigenes Können anzupassen, birgt Chancen, die Fehlerrobustheit und den Grad der Individualisierung eines solchen Interaktionsangebotes zu steigern.

**erste Eignungs-** In einer ersten Pilotuntersuchung zum Zeichnen mittels Gesten [sBey17] wurden elf verschiedene Formen an entsprechende figurale Gesten gebunden. Abbildung 7.6 zeigt die Zuordnung zwischen gezeichneter Form und zugehöriger Zeichengeste. Dabei wurden für vier Formen zusätzlich redundante Gesten oder Ausführungen definiert. Somit ergibt sich ein Gestenset von insgesamt 15 verschiedenen Gesten, wobei acht davon als *multi-stroke* (also aus mehreren separat hintereinander ausgeführten Bewegungen) definiert wurden. Die restlichen sieben Gesten wurden als *single-stroke* (also als ein zusammenhängender Bewegungspfad) definiert.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass zwei blinde Probandinnen mit dem Zeichensystem alle Gesten ausführen und Formen erzeugen konnten. Jedoch ist die Erkennungsrate des eingesetzten Klassifizierers stark von den zur Verfügung stehenden Sensordaten der jeweilig eingesetzten Hardware abhängig. Fehlerhafte Sensorik, unterbrochene Berührungsabfolgen oder große Latenzen beim initialen Erkennen von Berührungen, haben großen negativen Einfluss auf die Erkennungsraten. Solchen Fehlern kann auch nicht ausschließlich mit einem veränderten Trainingsset für Gesten begegnet werden. Zudem führten unpräzise Ausführungen von Gesten zu Fehlklassifikationen, weil sich Gesten zu ähnlich wurden (beispielsweise **Triangle** und **Rectangle**). Während eine sehende Person eine Erkennungsrate von mehr als 97 % realisieren konnte, wurden für die beiden blinden Probandinnen nur jeweils 82 % beziehungsweise 77 % korrekte Gesten auf dem getesteten Trainingsgestenset erreicht. Dennoch waren die befragten blinden Teilnehmerrinnen begeistert von der Art und Weise des direkten Zeichnens und gaben an, dass die erstellten Formen in hohem Maße dem entsprachen, was sie als Ergebnis erwartet hatten. Einzige Ausnahme war, dass sie Strichgrafiken (nur Kontur) anstatt schwarz gefüllter Formen erwartet hätten.



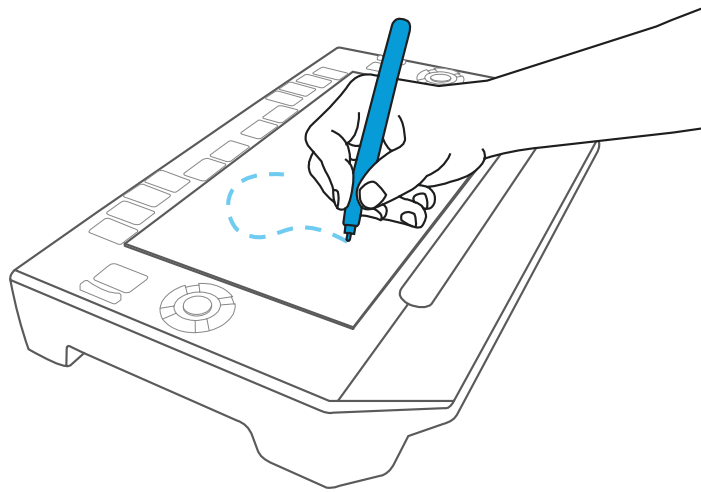
**Abbildung 7.7:** Formenpalette und zugehörige Zeichengesten des *Tangram* Zeichenarbeitsplatzes

Für die im später folgenden Abschnitt 7.3 beschriebene Evaluation der Zeichenmodalitäten wurde das verfügbare Formen- und damit Gestenset reduziert und an die Möglichkeiten der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Text-Menü-Palette angepasst. Jedoch wurde keine Extrageste für eine Trapezform eingefügt. Abbildung 7.7 zeigt die derzeit implementierte Formenpalette und deren assoziierten Zeichengesten. Bei potenziell ähnlichen Gestenformen wurde durch unterschiedliche Ausführungsrichtungen versucht, ein zusätzliches Unterscheidungsmerkmal einzubringen (vergleiche **Kreis** und **Rechteck/Quadrat**).

Gestenset zum Zeichnen

Nachdem eine Geste klassifiziert wurde, wird das an diese Geste gebundene Zeichenobjekt erzeugt und auf der Zeichenfläche platziert. Dabei orientiert sich die Größe und Platzierung der Form an der Ausdehnung und dem Ort der Gestenausführung. Das bedeutet, die idealisierte Form wird innerhalb der durch die Geste aufgespannten Bounding Box platziert und skaliert. Wenn sich die Geste in ihrer horizontalen und vertikalen Ausdehnung um nicht mehr als 15 % unterscheidet, wird im Falle einer Rechteck-Geste ein Quadrat gezeichnet und im Falle einer Kreisgeste ein perfekter Kreis. Zudem wird versucht, die Ausrichtung der Form an die Ausrichtung der Geste, beispielsweise deren Rotation oder Start- und Endpunkt, auszurichten. Speziell bei der Anwendung von Rotationen bei der Platzierung wurde darauf verzichtet, den genauen Rotationswert der Geste auf die Form zu übertragen. Stattdessen werden Rotationswerte auf 45°-Schritte diskretisiert. Dies bietet ausreichend Genauigkeit, um sich der Nutzerintention anzunähern.

finale Formen



### 7.2.3 Freihandzeichnen

Einige Zeichenaufgaben lassen sich nur sehr schwer durch Kombination aus grafischen Primitiven effizient lösen. Detaillierte Formen, die auch als *Freiformen* bezeichnet werden können, benötigen ein diesen Aufgaben angemesseneres Eingabekonzept. Solche Darstellungen könnten beispielsweise Lebewesen, unregelmäßige Formen, Karten oder Ähnliches abbilden.

Überwindung des  
Midas-Touch  
Effekts

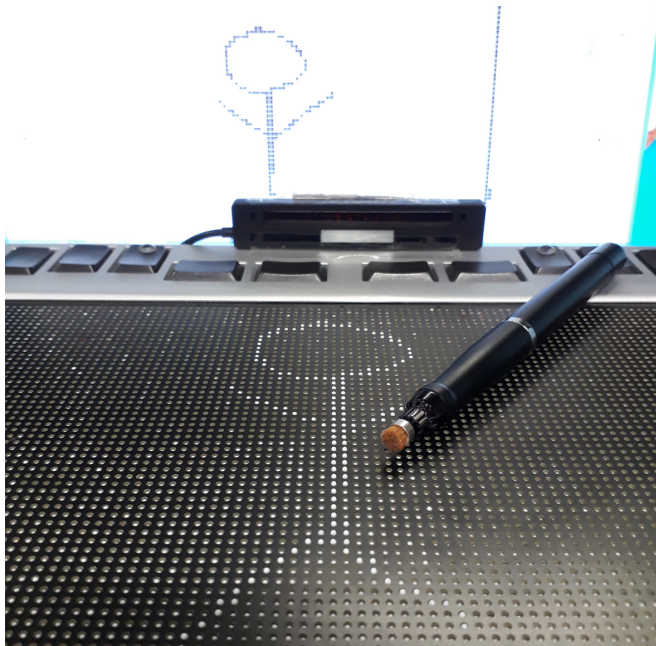
Der *Midas-Touch Effekt* verhindert, dass sich auf einer berührungssensitiven taktilen Ausgabefläche Zeichenoperationen mit dem Finger ausführen lassen, während gleichzeitig eine Erfolgskontrolle der Eingabe durch Erfühlen ermöglicht wird. Eine Lösung zur Überbrückung dieser Problematik kann darin bestehen, den Datenstrom zur Eingabe von den entstehenden Berührungsdaten beim Lesen zu filtern oder noch besser komplett zu trennen. Eine Filterung könnte beispielsweise durch eine Markierung des eingebenden Fingers geschehen<sup>2</sup>. Eine Trennung der Informationsströme kann durch einen zusätzlichen separaten Eingangskanal realisiert werden. Letzteres wurde in der hier vorgestellten Eingabemodalität durch den Einsatz eines digitalen drahtlosen Eingabestiftes (Stylus) umgesetzt. Dies führt zur **Hypothese 6**: „Mittels Stifteingabe mit unmittelbarer taktiler Rückmeldung können blinde Menschen Freihandzeichnungen erstellen“.

eingesetzter Stift

Als entkoppeltes Eingabegerät dient ein Digitalisierungsstift, der mittels Ultraschall und Infrarot seine planare Raumposition relativ zu einem Empfänger bestimmen kann [oPen12]. Der Empfänger für die Stiftposition wird hinter der taktilen Ausgabefläche, die gleichzeitig als Zeichenfläche und Interaktionsraum für den Stift dienen soll, angebracht (siehe Abbildung 7.8). Nach einer auditiv geführten Vier-Punkt-Kalibrierung mit taktilen Markierungen, kann die Eingabeposition des Stiftes mit einer fühlbaren Ausgabe auf dem taktilen Display überlagert werden. Die eingesetzte drahtlose Übertragungstechnik aus Ultraschall und Infrarot setzt eine durchgängige Sichtverbindung der jeweiligen Emitter an der Stiftspitze mit dem Empfänger voraus. Eine Verdeckung, beispielsweise durch eine Hand, unterbricht den Datenstrom.

<sup>2</sup> Zum Beispiel könnte der erste berührende Finger als alleiniger Eingabepunkt verfolgt werden oder es kann eine durch den Sensor erkennbare Markierung genutzt werden (bei kamerabasierten Systemen eine Farb- oder Zeichenmarkierung).



**Abbildung 7.8:**

Drahtloser Digitalisierungsstift (*AirPen*) mit kurzhaariger Pinselspitze und zugehörigem Empfänger hinter der taktilen Ausgabefläche

Der eingesetzte Digitalisierungsstift ist für die Digitalisierung von Handschriften ausgelegt. Ein an die Stiftspitze gekoppelter Schalter registriert, ob der Stift mit Druck – also schreibend – über eine Oberfläche geführt wird oder nicht. Zum Auslösen dieses binären Druckschalters ist jedoch ein entsprechender Gegendruck, wie er beim Schreiben auf Papier entsteht, notwendig. Zusätzliche Funktionstasten können am Schaft einiger Stifte angebracht sein<sup>3</sup>. Tasten

Mit dem Stift sind theoretisch Positionsbestimmungen mit einer Auflösung von bis zu 1.200 dpi bei einer maximalen Abtastrate von 100 Hz möglich [oPeg08]. Im hier beschriebenen Einsatz wurde die Abtastrate auf 40 Hz abgesenkt. Der eingesetzte Empfänger kann eine Fläche von rund 60 × 60 cm abdecken, was ausreichend für den Einsatz auf den rund 30 cm breiten Darstellungsflächen der verwendeten *BrailleDis* Geräte (vergleiche Abschnitt 3.2.2.2) ist. Positionsbestimmung

Trotz des Einsatzes von taktilen Zeichenfolien, die mit Stiften bearbeitet werden, bleibt jedoch zu bedenken, dass es blinden Menschen oft schwer fällt, einen Stift richtig zu handhaben. Gerade früh- oder geburtsblinde Personen haben den Umgang mit Stiften nur unzureichend gelernt<sup>4</sup> und sind darum wenig geübt. Die Handhabung des Stiftes selbst wird darüber hinaus durch den unebenen Untergrund des taktilen Displays beeinflusst. Sowohl erhabene Punkte, die überwunden werden müssen, als auch Vertiefungen nicht gesetzter Punkte, in die eine Stiftspitze abrutschen kann, können Eingaben stören. Im Gegenzug darf natürlich auch der Stift selbst die taktile Ausgabefläche nicht beschädigen. Die Wahl einer geeigneten Stiftspitze für den Stylus ist somit ein initial zu lösendes Problem. Handhabung

Es wurden mehrere verschiedene Spitzen ausprobiert, die in Abbildung 7.9 zu sehen sind. Neben der klassischen Stylusspitze<sup>5</sup>, die zu fein ist und sich zu leicht von den taktilen Strukturen beeinflussen lässt, wurde auch eine mit einer kleinen Kunststoffkugel versehene Spitze eingesetzt (z.B. in [sBey17]), die von anderen Arbeiten mit taktilen Displays und Stifteingaben inspiriert wurde [KW02; WK02]. Stiftspitzen

<sup>3</sup> Die meisten im Rahmen dieser Arbeit eingesetzten Stifte besaßen keine oder maximal einen zusätzlichen Funktionsschalter.

<sup>4</sup> z. B. durch das Schreibenlernen in der Schule etc.

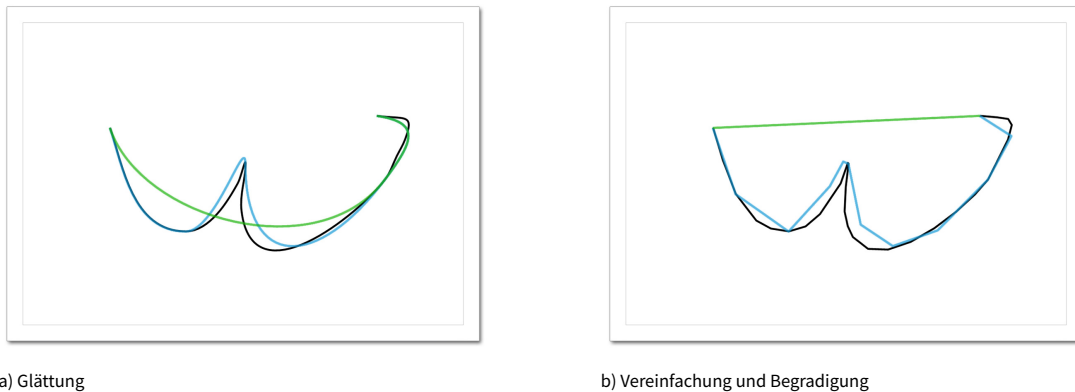
<sup>5</sup> Kugelschreibermine ohne Tinte aus solidem Kunststoff



**Abbildung 7.9:** Verschiedene Digitalisierungsstifte und einsetzbare Schreibspitzen

- Kugelspitze** Die Kugelspitze ist starr und mit einem Durchmesser von circa 6 mm groß genug, um nicht durch kleine Vertiefungen beeinflusst zu werden. Erhabene Strukturen lenken den Stift jedoch merklich ab. Zudem besteht durch die Härte der Stiftspitze die Möglichkeit das Display selbst zu beschädigen. Darüber hinaus berichteten blinde Nutzende bei der Handhabung der Kugelspitze, dass sie sehr glatt ist und somit wenig Reibung und damit Gegendruck und Rückmeldung auf der Zeichenunterlage liefert. Dies macht es schwierig, die Bewegungen zu koordinieren und nicht ständig „über das Ziel hinauszuschießen“.
- Pinselspitze** Um das Display nicht zu beschädigen, wurde die Kugelspitze durch einen kurzhaarigen Pinsel ersetzt. Dieser bietet genügend Reibung für eine gute Rückmeldung und lässt sich dabei nicht durch unregelmäßige Strukturen der Zeichenoberfläche beeinflussen. Diese Spitze wurde im Rahmen der in Abschnitt 7.3 beschriebenen Evaluation eingesetzt. Die Pinselspitze hat jedoch zwei große Nachteile. Zum einen „entkoppelt“ sie den Stift ein wenig von der Zeichenoberfläche und dämpft damit das Schreibgefühl. Dies macht die Handhabung etwas unpräzise und beeinträchtigt zudem die korrekte Funktion des gekoppelten Druckschalters – entsprechend starkes Aufdrücken beim Führen des Stiftes ist die Folge. Zum anderen lässt sich die Spitze durch die Pinselhaare zwar sehr einfach über unregelmäßige Oberflächen ziehen, jedoch nur sehr schwer schieben. Auch dies beeinträchtigt die Handhabbarkeit und Präzision negativ. All diese Einflüsse stellen insbesondere auch beim Schreiben ein Problem dar.
- Filzspitze** Als letzte Evolutionsstufe wurde darum auf eine feste und dicke Filzstiftmine zurückgegriffen. Diese bietet ausreichend festen Gegendruck und Reibung für eine präzise Handhabung, lässt sich in alle Richtungen gut führen und beschädigt dabei die Displayoberfläche nicht. Jedoch lässt sie sich deutlich spürbarer von Unregelmäßigkeiten der Zeichenoberfläche beeinflussen als dies bei der Pinselspitze der Fall ist.
- technische Umsetzung** Das Freihandzeichnen mittels Stift wurde als eine Kombination aus Hardware- und Funktionserweiterung des *Tangram* Arbeitsplatzes (siehe Abschnitt 6.2.2.4) realisiert. Der Stift selbst wurde als eigenständiger Hardware-Adapter für das *BrailleIO*-Framework definiert. Das heißt, der Digitalisierungsstift stellt ein taktiles Ausgabegerät ohne reale Anzeigefläche, aber mit Berührungssensorik und wenigen Interaktionstasten<sup>6</sup> dar. Die Größe der virtuellen Ausgabefläche und damit auch der übertragenen Positionsdaten als Ein-Punkt-Berührung ergibt sich aus der Initialisierung beziehungsweise der Vier-Punkt-Kalibrierung beim Start. Der große Vorteil dieser Implementierung liegt darin, dass sich der Stift somit unmittelbar

<sup>6</sup> eine Taste gekoppelt an die Stiftspitze sowie eventuelle zusätzliche Tasten am Stiftschaft



a) Glättung

b) Vereinfachung und Begradigung

**Abbildung 7.10:** Optimierungsoptionen für eingegebene Freihandpfade (schwarz: initiale Optimierung, blau: nach fünf weiteren Optimierungsschritten, grün: nach weiteren 15 Optimierungsschritten)

als Erweiterung von Geräten ohne Berührungssensorik für Programme einsetzen lässt, die auf dem *BrailleIO*-Framework aufbauen. Im Gegenzug können auch andere Quellen von Berührungsdaten aus dem *BrailleIO*-Framework für Zeichenfunktionen herangezogen werden, die dem *Tangram* Arbeitsplatz durch die Funktionserweiterung hinzugefügt werden.

Unter anderem lassen sich eingegebene Berührungspfade in Freiformen als Polygon oder Bézier-Kurve umwandeln<sup>7</sup>. Dabei kann der Grad der auf den Eingabepfad angewendeten Glättung (*smoothing*) oder Vereinfachung (*simplify*) bestimmt und nachträglich angepasst werden (siehe Abbildung 7.10). Eingegebene Freiformen werden entweder als geschlossene oder offene Formen beziehungsweise Pfade in eine Zeichnung eingefügt. Dabei wird, so wie bei der initial angewendeten Formenfüllung, auf die global verfügbaren Nutzereinstellungen aus den in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen Text-Menüs zurückgegriffen.

Pfadoptimierung

Wird der Stift mit ausreichend Druck<sup>8</sup> über die Zeichenfläche geführt, wird durch den Stift als Eingabehardware eine Geste mit gleichzeitig gedrückter Taste an das System übermittelt. Dieses zeichnet temporär den übertragenen Berührungsverlauf als verfolgbare Linie auf das taktile Ausgabegerät. Der temporäre Pfad zeigt sich auf freien Flächen als erhabene Linie mit einem Taxel Stärke, auf bereits mit erhabenen Strukturen besetzten Gebieten wird er als negative, also abgesenkte, Linie präsentiert. Die Überwindung des *Midas-Touch Effekts* ermöglicht es blinden Nutzenden, ihre mit dem Stift getätigte Eingabe mit der anderen Hand zu kontrollieren und weitere Schritte, wie Richtung, Ziel oder Korrekturen zu planen. Wird der Stift angehoben und damit die Zeichenbewegung beendet, so wird der temporäre Pfad in ein Freiformzeichenobjekt umgesetzt und der Zeichnung als optimiertes DOM-Element hinzugefügt. Der Grad der auf den eingegebenen Pfad angewendeten Glättung und Vereinfachung kann nun frei angepasst werden (siehe Abbildung 7.10). Anschließend kann entweder das Gesamtelement mit den in Abschnitt 6.1.2.3 beschriebenen Bearbeitungsfunktionen manipuliert werden oder es können die einzelnen Eck- und Kontrollpunkte der Freiform angepasst werden. Dies ermöglicht es Nutzenden, Fehler in ihrer Eingabe oder bei der Umsetzung in eine Form im Nachgang zu korrigieren.

Interaktionsmechanismus

Aus dem vorgestellten Interaktionskonzept, der eingesetzten Hardware sowie der Implementierung ergeben sich jedoch auch Nachteile oder Schwierigkeiten. Aufgrund der bereits beschriebenen Problematiken der Nutzergruppe blinder Menschen beim Umgang mit Stiften, muss die Eingabe von Zeichenpfaden sehr robust ausgelegt sein. Das heißt, ein nur kurzzeitiges Anheben der Stiftspitze darf nicht sofort dazu führen, dass ein (Teil-)Pfad beendet

Probleme

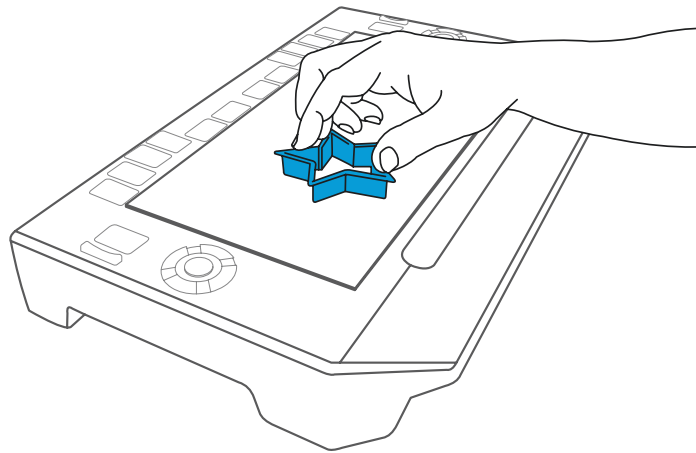
<sup>7</sup> Dabei wird eine Implementierung des Smoothing-Algorithmus von Schneider verwendet [Sch90].

<sup>8</sup> sodass der an die Stiftspitze gekoppelte Druckschalter gedrückt wird

wird und ein neuer begonnen wird. Das nachträgliche Zusammenfügen von verschiedenen Teilpfaden zu einem zusammengesetzten Pfad ist derzeit nur über die GUI, jedoch nicht über das nicht-visuelle Interface möglich. Es muss also eine gewisse Latenz (Wartezeit) eingerichtet werden, die verhindert, dass Pfade während des Zeichnens unbeabsichtigt in Teilpfade zerlegt werden<sup>9</sup>. Diese gewollte Latenz für das Zeichnen führt jedoch dazu, dass ein schnelles Erstellen getrennter Pfade, wie beispielsweise beim handschriftlichen Schreiben, nicht effizient möglich ist. Die Latenzschwelle ist darum konfigurierbar ausgeführt. Darüber hinaus stellt die stetig notwendige Sichtverbindung zwischen Stiftspitze und Empfänger ein Problem dar. Das Interaktionskonzept selbst sieht vor, dass Nutzende mit einer zweiten Hand ihre Zeichnung unmittelbar betrachten oder nach einem Zielpunkt suchen können. Dies führt unweigerlich dazu, dass die Sichtverbindung (zur Übermittlung von Positionsdaten) und damit die korrekte Eingabe gestört wird.

---

<sup>9</sup> z. B. durch zu wenig Druck auf die Stiftspitze oder kurzzeitiges Unterbrechen der Sichtverbindung zum Empfänger



#### 7.2.4 Silhouetten

Blinden und hochgradig sehbehinderten, wie auch sehenden Menschen, fällt es oft sehr schwer, die Erwartungen an ihre eigenen Zeichnungen zu erfüllen. Dies liegt auch daran, dass nur wenige Menschen geübt oder talentiert genug sind, ihr mentales Bild in eine entsprechende Zeichnung zu überführen. Oft wird dann, wie im Fall von geometrischen und anderen Standardformen, auf vorbereitete Bibliotheken zurückgegriffen, aus denen komplexe Darstellungen entnommen und in die eigene Komposition eingefügt und weiterbearbeitet werden. Es ist jedoch unmöglich alle vorstellbaren komplexen Formen in einer solchen Bibliothek oder Palette anzubieten. Eine oft genutzte Lösung ist das Durchsuchen großer Datenbanken (beispielsweise eine Bildersuche im Internet) nach geeignetem Material zur Verwendung oder Weiterverarbeitung. Eine andere Möglichkeit kann sein, Bilder von Gegenständen und Ähnlichem selbst zu erzeugen, zum Beispiel mittels Kamera oder Scanner, und diese in eine Grafik einzufügen.

basiert auf



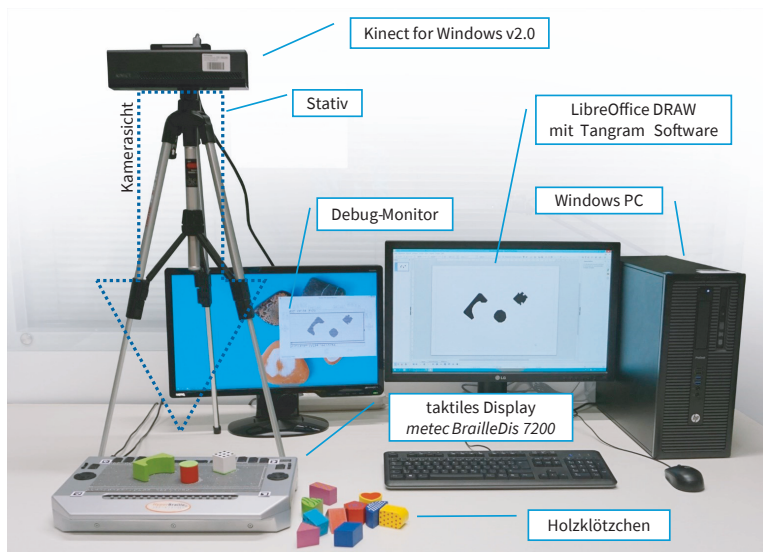
[\*BFB17]

Ein solcher kamerabasierter Ansatz soll auch für das zugängliche Zeichensystem angeboten werden. Dabei wird mehr auf taktile denn auf optische Eigenschaften von Objekten gesetzt. Konkret soll die Silhouette – also der zweidimensionale Schattenriss eines Objektes – erfasst und in die Zeichnung eingefügt werden. Dies soll es auch ermöglichen, komplexe Formen nicht nur als Freihandzeichnung oder komplizierte Formenkomposition zu erstellen, sondern ein entsprechendes reales Pendant einzusetzen, um eine initiale Form zu erzeugen. Beispiele hierfür können Holzformen, Spielzeuge, Modelle und vieles mehr sein. Daraus folgt die Annahme von **Hypothese 7**: „Komplexe zweidimensionale Umrisse von realen Objekten können mittels kamerabasierter Technik schnell und einfach durch blinde Menschen in Grafiken eingefügt werden“.

Silhouetten

Das angedachte Interaktionskonzept sieht vor, dass ein real eingesetztes Objekt direkt auf die taktile Ausgabe einer Zeichnung wirken kann. Eingesetzte Objekte dürfen folglich nur so groß sein, dass sie in ihren Größenverhältnissen mit der Zeichnung und dem Zeichenarbeitsplatz selbst einigermaßen übereinstimmen. Zur Abbildung von Silhouetten großer Objekte, wie Fahrzeuge oder Möbelstücke, müssten dann entsprechend verkleinerte Modelle eingesetzt werden.

Größe von  
Objekten

**Abbildung 7.11:**

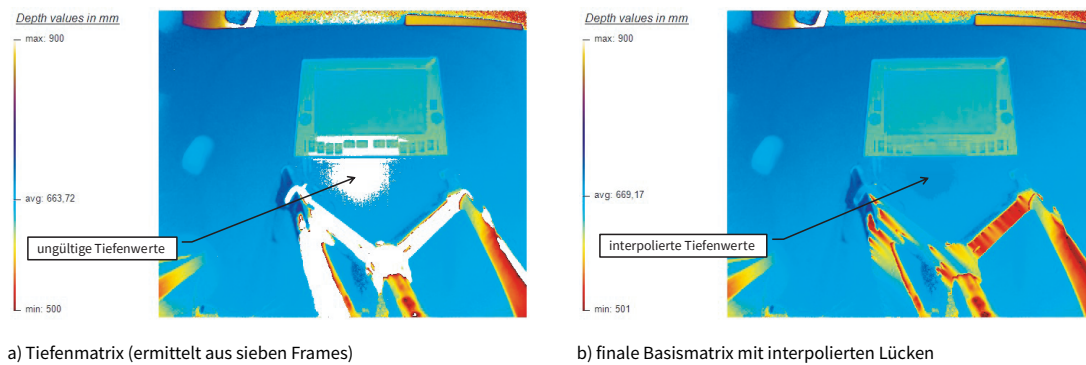
Technischer Aufbau des Zeichenarbeitsplatzes mit taktilem Display und Tiefenkamera

**Anforderungen** Ein kamerabasierter Ansatz, der für blinde Menschen funktionell und robust ist, unterliegt einigen speziellen Rahmenbedingungen. Diesen muss bei der Konzeption und technischen Realisierung Rechnung getragen werden. Neben der einfachen, robusten und fehlertoleranten Handhabung, die keine visuelle Kontrolle benötigt, ist auch die Unabhängigkeit von der Umgebungsbeleuchtung eine solche Bedingung. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass blinde Menschen nur sehr selten Raumbeleuchtung am Arbeitsplatz für sich selbst einsetzen [sFör17]. Es ist also vorstellbar, dass die Umgebungsbeleuchtung allein unzureichend für optische Systeme ist. Um dieses Problem zu umgehen, wurde im hier implementierten Ansatz auf eine 3D-Tiefenkamera zurückgegriffen, die unabhängig von einer externen Beleuchtung relativ stabil arbeiten kann.

**ToF-Sensor** Als Tiefenkamera wird auf eine *Microsoft Kinect v2.0* (Modelljahr 2015) [oMic17] zurückgegriffen. Der Tiefensensor setzt auf eine Detektion mittels Infrarot Time of Flight (ToF) Technik. Dabei sendet der Sensor kurzzeitig ein Licht definierter Wellenlänge aus und detektiert dieses anschließend. Aus der Laufzeitverschiebung der Lichtwellen kann dann berechnet werden, wie lange ein Lichtstrahl zu einem reflektierenden Objekt und zurück zum Sensor benötigt hat. Dies ermöglicht den Rückschluss auf die Entfernung zwischen Sensor und Objekt. Der *Kinect*-Sensor bietet Zugriff auf drei verschiedene (Bild-)Datenströme: (1) einen RGB-Bilderstream mit einer Auflösung von  $1.920 \times 1.080$  Pixeln und (2) einen Infrarot-Bilder-Stream mit einer Auflösung von  $512 \times 424$  Bildpunkten sowie (3) eine daraus abgeleitete Tiefensensormatrix mit ebenfalls  $512 \times 424$  Tiefenpunkten. Der Sensor ist in der Lage, Tiefenwerte von 0,5 bis zu 4,5 m Entfernung zu detektieren. Alle Datenströme werden in einer Frequenz von 30 Hz aktualisiert. Darüber hinaus verfügt der *Kinect*-Sensor über ein Mehrkanalmikrofon, das eine Richtungsdetektion von Tönen zulässt. Im Rahmen der Arbeit findet dieses allerdings keine Anwendung. Der Sensor muss über eine USB 3.0 Schnittstelle mit einem Rechner verbunden werden und benötigt darüber hinaus eine eigene zusätzliche Stromversorgung.

**Aufbau** Um Objekte, die auf der taktilen Anzeigefläche platziert wurden, erkennen zu können, muss der Tiefensensor mit seinem Sichtfeld – engl. Field of View (FoV) nach unten auf eben diese Darstellungs- und Interaktionsfläche gerichtet sein. Dazu wird der Sensor auf ein Kamerastativ (Dreibein) montiert und hinter dem taktilen Display platziert. Der Aufbau ist in Abbildung 7.11 dargestellt. Zur Einhaltung des Minimalabstands ( $\geq 0,5$  m) und zur Prävention von Kollisionen von Nutzenden mit dem über ihrem Interaktionsraum angebrachten Sensor, wurde die Kamera in einer Höhe von circa 70 cm über der Darstellungsfläche platziert.





**Abbildung 7.12:** Basistiefenmatrix für eine Segmentierung

Mit diesem Aufbau ist es möglich, Objekte, die sich von der Darstellungsfläche erheben, mittels Tiefensegmentierung zu erkennen und in ein Zeichenobjekt umzusetzen. Dabei wird auf die Differenz zweier Sensordatenmatrizen eine Entscheidungsfunktion angewendet, aus deren Ergebnis sich dann beispielsweise wieder ein Bild generieren lässt. Im hier implementierten Fall ist die Entscheidungsfunktion die simple Anwendung eines Schwellwertes auf negative (also der Kamera nähere) Differenzwerte, die dann als Bildpunkt in ein Graustufenbild übernommen werden.

Segmentierung

Für die Anwendung einer Tiefensegmentierung muss zuerst die sogenannte Grundwahrheit (*Ground-Truth*) ermittelt werden, über die sich später detektieren lässt, ob sich Objekte von dieser abheben oder nicht. Es ist also ein Basissatz an Tiefenwerten zu bestimmen, der den Arbeitsplatz ohne aufgelegte Objekte beschreibt. Dazu werden sieben aufeinanderfolgende Tiefenbilder (Frames) aufgenommen und gemittelt<sup>10</sup>. Im Schnitt wurden bei Experimenten Schwankungen der Tiefenwerte mit einer Standardabweichung von 11 mm pro Punkt um das Zentrum des Tiefenbildes und bis zu 60 mm an den Rändern über die sieben Frames festgestellt. Ungültige Tiefenwerte werden bei der Ermittlung ignoriert. Sollten sich im resultierenden Basisdatensatz Werte finden, für die innerhalb der sieben Frames kein Tiefenwert ermittelt werden konnte, so wird dieser über seine acht validen Nachbarn interpoliert (siehe Abbildung 7.12). Dies ist sehr häufig im Fokusbereich der Kamera der Fall.

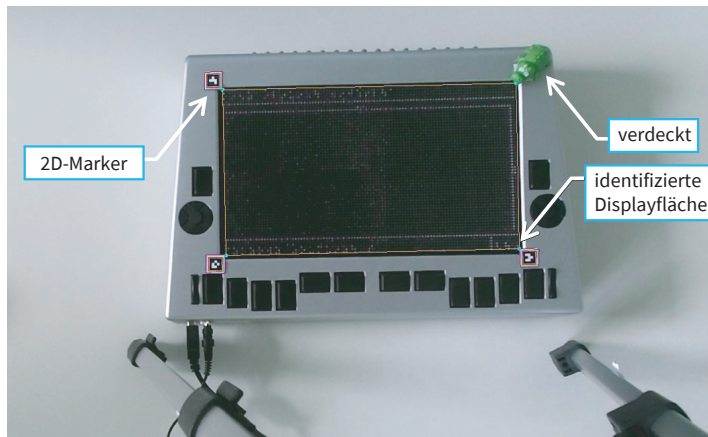
Ground-Truth

Zur Synchronisierung von taktiler Ausgabe und Realobjekten, die auf dieser platziert werden, ist eine entsprechende Kalibrierung notwendig. Diese geht mit einer Detektion des Ausgabegerätes, im Speziellen seiner Anzeigefläche beziehungsweise des Interaktionsraumes, innerhalb der Sensordatenströme einher. Ein vom eingesetzten Ausgabegerät unabhängiger Ansatz muss hier gefunden werden, da es eine Vielzahl möglicher taktiler Geräte gibt, die eingesetzt werden könnten. Die optische Markierung mittels binär-grafischer 2D-Marker scheint praktikabel und universell genug. Dabei werden einzigartige quadratische Muster in einer  $3 \times 3$  Matrix angeordnet und als kleine Aufkleber an den vier Ecken der Darstellungsfläche auf dem taktilen Display positioniert (siehe Abbildung 7.13). Jeder Ecke ist ein spezieller Marker zugewiesen, weshalb sich diese in Bilddaten identifizieren lassen und somit eine Vier-Punkt-Kalibrierung ermöglichen. Sollten nur drei Ecken erkannt werden, so kann die vierte aus den Positionen der anderen drei geschätzt werden. Zur Erkennung der Marker wurde auf die C#-Bibliothek *AForge* zurückgegriffen [oKir13]. Die Kalibrierung wird mittels Tastenkombination gestartet und der Nutzende wird auditiv geführt. Dabei werden sowohl die Tiefenmatrix für die Grundwahrheit als auch die Displayposition bestimmt.

Detektion der  
Ausgabefläche

<sup>10</sup> Experimente zeigten, dass mehr Bilder zu keiner Verbesserung der Ergebnisse führten [sFör17; sRot15].



**Abbildung 7.13:**

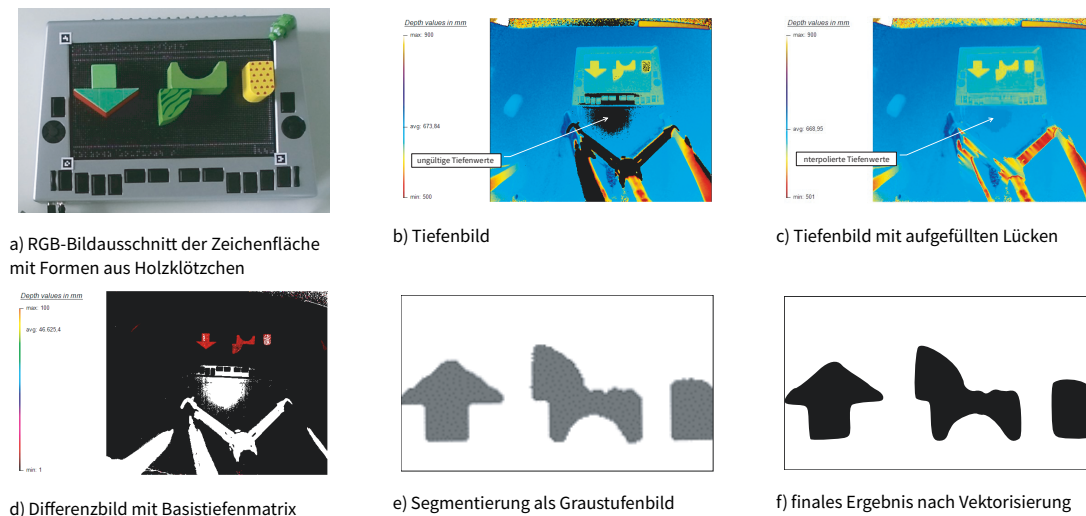
Optische Vier-Punkt-Kalibrierung der taktilen Darstellungsfläche mittels 2D-Markern

Visuelle Marker scheinen zwar der Anforderung nach einem beleuchtungsunabhängigen Ansatz entgegenzustehen, doch die binären Marker lassen sich auch im Infrarot-Stream des *Kinect* Sensors identifizieren, da dieser auch im Dunkeln ausreichend kontrastreiche Bilder liefern kann. Da das Infrarotbild deutlich niedriger aufgelöst ist, müssen die Marker allerdings deutlich größer ausgeführt sein als die in dieser Arbeit verwendeten  $17 \times 17$  mm großen Kleber.

**Capturing** Das Erfassen (*Capturing*) von Objekten, beziehungsweise deren Silhouetten, erfolgt, wie bereits beschrieben, nach dem Drücken einer Tastenkombination als Tiefensegmentierung. Dazu werden Nutzende auditiv via TTS aufgefordert, ihre Hände aus dem Bereich der Darstellungsfläche zu entfernen, bis eine auditive Erfolgsrückmeldung oder Fehlermeldung erfolgt. Nach der manuellen Initiierung eines Capturings wird nach einer kurzen Wartezeit zuerst erneut versucht, die 2D-Marker im aktuellen Kamerabild zu finden und mit den Positionen aus der Kalibrierung zu vergleichen. Weichen diese zu weit ab<sup>11</sup>, so wird eine neue Kalibrierung eingefordert. Danach erfolgt die Segmentierung eines aktuell aufgenommenen und optimierten Tiefenbildes (vergleiche Abbildung 7.14 b und c) mit anschließender Erzeugung eines Graustufenbildes von sich abhebenden Strukturen (siehe Abbildung 7.14 d und e), wobei kleinere Lücken innerhalb von Objekten geschlossen und zu kleine Objekte (wenige Bildpunkte) als Rauschen entfernt werden. Das Graustufenbild wird anschließend durch den Einsatz der *Potrace*-Bibliothek [oSel17] geglättet und vektorisiert (siehe Ergebnis in Abbildung 7.14 f). Die Ergebnisformen der Vektorisierung werden anschließend, entsprechend der Kalibrierung und anderer Parameter, an der Stelle im Zeichendokument als DOM-Elemente eingefügt, an der sie sich auf dem Kamera- beziehungsweise Tiefenbild befinden. Anschließend wird ein Ton zur erfolgreichen Beendigung der Aufnahme abgespielt und die eingefügten Elemente können als Freiformen (Bézier-Kurven) mit den bekannten Werkzeugen weiter bearbeitet und angepasst werden. Der Vorgang des Capturings bis zum Einfügen der Formen dauert, je nach Komplexität der zu vektorisierenden Objekte und der Leistungsfähigkeit des eingesetzten Rechners, meist zwischen 300 und 1.400 ms.

**Bewertung** In einer Pilotstudie mit drei blinden Teilnehmenden (davon zwei Frauen und zwei früh- bzw. geburtsblind) im Alter von 24 bis 54 Jahren, wurde das Interaktionskonzept erprobt [\*BFB17; sFör17]. Dabei sollten die Teilnehmenden einfache geometrische Objekte aus Holz mit dem Kamerasystem in Zeichnungen einfügen. Anschließend sollten sie nicht nur das Interaktionskonzept an sich bewerten, sondern auch, wie sehr die resultierende Form ihren Erwartungen entspricht. Das Interaktionskonzept selbst wurde als sehr gut und einfach zu nutzen bewertet (SUS-Bewertung von 93,33). Die resultierenden Formen zeigten jedoch deutliche Abweichungen von der Erwartungshaltung der Nutzenden.

<sup>11</sup> etwa 5 Bildpunkte



**Abbildung 7.14:** Aufnahme und Extraktion von Objekten mittels Tiefensegmentierung im *Tangram* Zeichenarbeitsplatz

Probleme bei der Umsetzung von 3D-Objekten in ihre 2D-Kontur ergeben sich alleine daraus, dass das zu erwartende Ergebnis nicht einem Ideal entspricht. Die sich ergebenden Formen unterliegen aufgrund des kamerabasierten Ansatzes zu vielen negativen Einflüssen. Dazu zählen unter anderem (1) optische Verzerrungen, (2) Fehler in der Tiefendetektion, die zu Lücken oder Rauschen führen, (3) Glättungseffekte des Vektorisierungsprozesses und (4) die stark beschränkte Menge an Informationen, auf die zur Bildung einer Segmentierung zurückgegriffen werden kann. Letzteres ist der Tatsache geschuldet, dass das Tiefenbild des eingesetzten Sensors eine Auflösung von nur  $512 \times 424$  Bildpunkten hat. Die Distanz von rund 70 cm zur nur wenige Zentimeter großen Interaktionsfläche ergibt eine Tiefensensorauflösung von weniger als 18 dpi, was sehr gering ist. Dies ermöglicht es leider nicht, detaillierte Strukturen von aufgelegten Objekten zu erfassen.

Zudem tragen optische Phänomene dazu bei, dass Objekte im Kamera- beziehungsweise Tiefenbild nicht exakt, also direkt von oben, aufgenommen werden. Da sich im Zentrum des Tiefenbildes oft ein blinder Fleck befindet (siehe beispielsweise Abbildung 7.14 b), wird darauf zurückgegriffen, die Segmentierung etwas vom Fokuspunkt entfernt auszuführen. Dies führt dazu, dass Objekte nicht nur ideal von oben, sondern auch ein wenig seitlich betrachtet werden. Dies verzerrt ihre, durch den Nutzenden angedachte Silhouette. Dieses Phänomen kann mit einem tatsächlichen Schattenwurf verglichen werden. Es verstärkt sich, je höher ein Objekt ist. Zusätzlich zur Verzerrung der Gestalt durch Anteile der Stirnfläche verschiebt sich auch die Position im Bild ein wenig weg von der Position, auf der das reale Objekt auf der Zeichenfläche platziert wurde. Die erwartete Deckungsgleichheit zwischen Realobjekt und entstehendem taktilen Eindruck darunter ist damit nicht mehr exakt gegeben. Eine nachträgliche Bearbeitung der Formen kann diese Probleme beheben, ist jedoch mit zusätzlichem Aufwand verbunden.

## 7.2.5 Weitere Hilfsmittel zum taktilen Zeichnen

Neben den bereits beschriebenen Möglichkeiten zum Zeichnen und Interagieren über die nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle werden noch weitere Hilfen angeboten. Die nachfolgend beschriebene Orientierungshilfe (Hilfsraster) sowie das Erstellen und Bearbeiten von verschiedenen Textelementen waren nicht Teil der in Abschnitt 7.3 durchgeführten Evaluation.

### 7.2.5.1 Hilfsraster

Orientierungs- und Ausrichtungshilfen

Als Orientierungshilfe auf dem taktilen Display können neben den Grenzen des taktilen Displays auch die Abgrenzungen der Bereiche, die taktilen Scrollbalken sowie die Markierung der Zeichenblattgrenzen genutzt werden. Zur Ausrichtung von Elementen einer Zeichnung zueinander können primär nur die taktile Darstellung auf dem Zeichenblatt oder einige Elementeigenschaften, wie Position und Größe, herangezogen werden. Um die Ausrichtung von Elementen zu erleichtern, wird ein taktiler Hilfsraster angeboten, welches sich über ein einfaches Tastenkommando schnell ein und wieder ausblenden lässt.

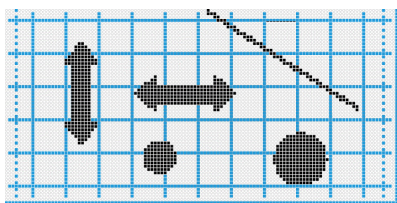
Die Überlagerung einer binär-taktilen Darstellung mit einem weiteren taktilen Element kann störend sein und die Erkennung sowohl der Grafikobjekte als auch des überlagernden Rasters erschweren. Die Gestaltung und Anzeige eines solchen Rasters ist somit mit Obacht vorzunehmen. Das im taktilen Zeichenarbeitsplatz angebotene Hilfsraster wird ausschließlich als erhabene Punkte (Taxel) dargestellt. Um die taktile Gestalt von überlagerten Formen nicht zu zerstören, wird auf die Anzeige als abgesenkte Punkte auf dunklen Flächen verzichtet. Darüber hinaus kann eingestellt werden, ob das Hilfsraster direkt an Formen anschließen darf oder ob eine Lücke zwischen Raster und Form gelassen werden soll, um deren Gestalt nicht zu verfälschen. Abbildung 7.15 zeigt die beiden Darstellungen im Vergleich.

Experten-evaluation

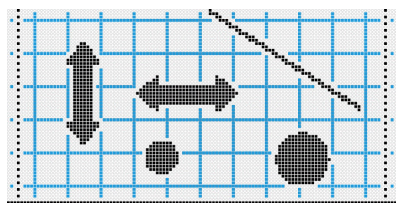
In einer kleinen Expertenevaluation wurden zwei blinden Personen verschiedene Gestaltungen eines Hilfsrasters gezeigt (siehe Abbildung 7.16), die auf ihre Eignung hin bewertet werden sollten. Als Ergebnis der Befragung kam heraus, dass alle Gestaltungen geeignet sind und eine Präferenz höchst subjektiv sowie an die gestellte Aufgabe gebunden ist. Die Gestaltung des Rasters sollte somit individualisierbar sein.

Das Anzeigeraster kann nun durch den Nutzenden selbst in seiner Laufweite<sup>12</sup> (siehe Abbildung 7.15 c) und in seiner Liniengestaltung als Abfolge von Strichlängen und Lücken (in Taxeln) bestimmt werden (vergleiche Abbildung 7.16). Das Raster ist in seiner Positionierung an die globale Position des Zeichenblattes geknüpft – es bewegt sich somit bei Panning-Operationen entsprechend ortsstabil mit. In seiner Gestaltung selbst bleibt es jedoch fix. Das bedeutet, dass es sich bei Zooming-Operationen nicht vergrößert oder verkleinert (siehe Abbildung 7.17).

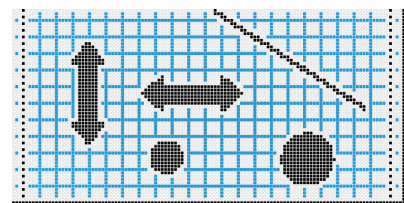
<sup>12</sup> Abstand zwischen den Rasterlinien für vertikale und horizontale Linien separat einstellbar



a) Hilfsraster ohne Abstand



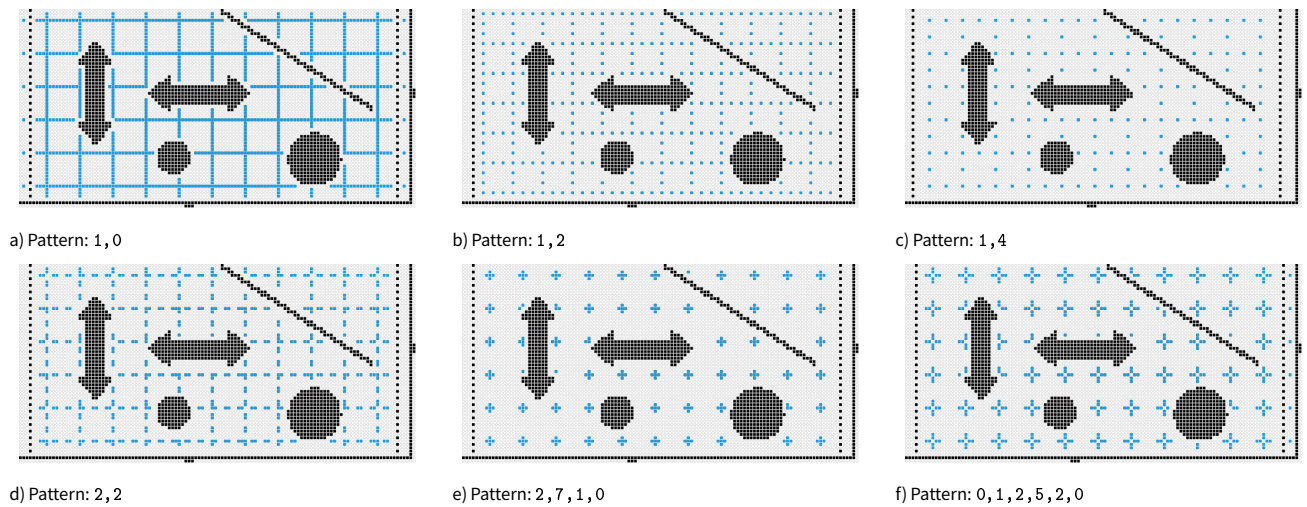
b) Hilfsraster mit Abstand zu Formen



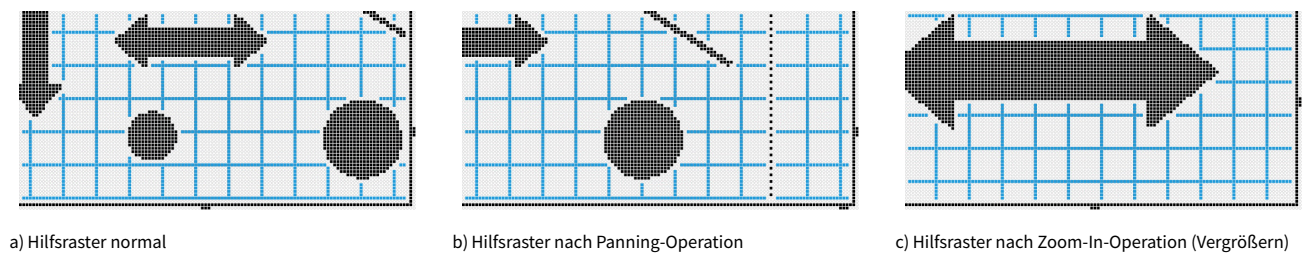
c) Hilfsraster mit verkleinerter Laufweite (von 10 auf 5)

**Abbildung 7.15:** Hilfsraster ohne und mit Abstand zu anderen Objekten einer Zeichnung sowie mit veränderlicher Laufweite





**Abbildung 7.16:** Mögliche Gestaltungen von Hilfsrastern (Patterndefinition: Strich, Lücke, [Strich], [Lücke] ...)



**Abbildung 7.17:** Position und Gestalt des Hilfsrasters bei Zooming- und Panning-Operationen

### 7.2.5.2 Textelemente und Labels

Die Möglichkeit, Texte in eine Zeichnung einzubringen, soll auch durch den zugänglichen Zeichenarbeitsplatz für sehbehinderte Menschen gewährleistet werden. Dabei sind drei Arten von Texten in Zeichnungen zu unterscheiden:

1. **Text in einer Form:** eine existierende Form (Kreis, Rechteck, etc.) wird mit einem Textinhalt „beschrieben“ beziehungsweise gefüllt (Form mit Beschriftung)
2. **Eigenständige Textelemente:** Texte, die nicht an eine existierende Form gebunden sind (Textelement)
3. **Text-Label zu einem Element:** ein eigenständiges Textelement, das mit einer verbindenden Linie an ein anderes Grafikelement gekoppelt ist, um dieses zu beschreiben (gebundenes Label)

Alle drei Arten lassen sich über den selben Mechanismus erstellen. Ist ein Element zur Bearbeitung markiert, kann mittels einer Tastenkombination eine Textbeschriftung für dieses Element eingetragen werden. Dazu öffnet sich ein Text-Eingabefeld im *Detailbereich* der taktilen Anzeige. Hier kann über eine Braille-Tastatur auf der angeschlossenen Hardware oder über die Standard-(QWERTZ-)Tastatur die Beschriftung eingetragen und bearbeitet werden (siehe Abbildung 7.18).

Textelemente  
erstellen

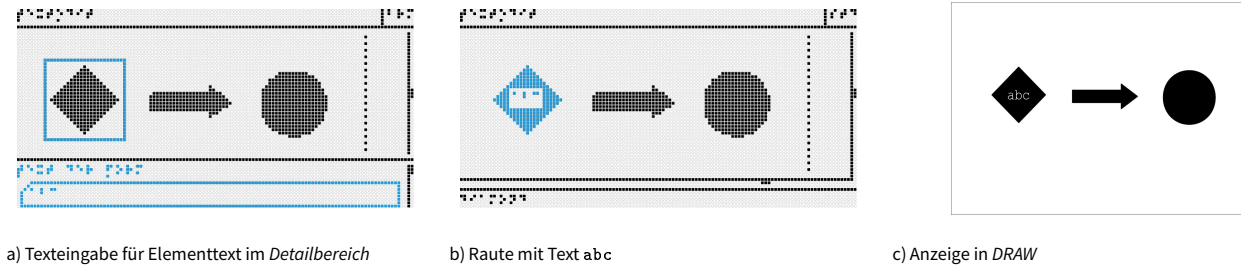


Abbildung 7.18: Beschriftung eines Zeichenobjektes mit Text

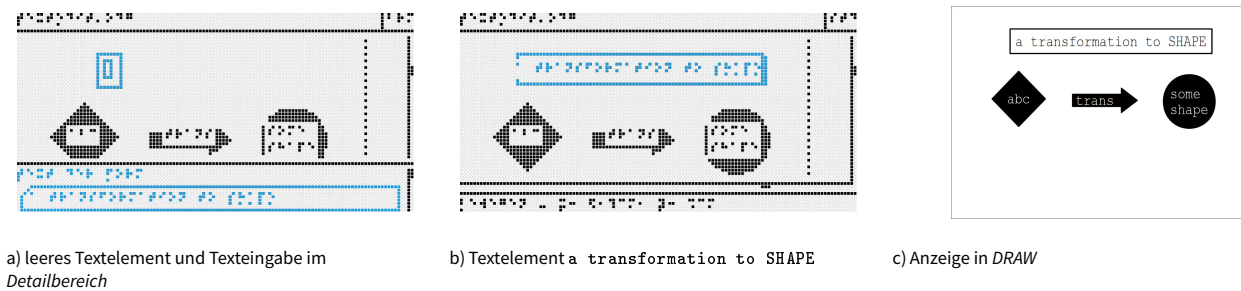


Abbildung 7.19: Erzeugung eines Textelements

Ein eigenständiges Textelement (siehe Abbildung 7.19) kann über die gleiche Tastenkombination erzeugt werden, wenn kein Zeichenobjekt zur Bearbeitung markiert ist, oder alternativ über das Braille-Text-Menü zur Formenerzeugung (siehe Abschnitt 7.2.1). Zur Erzeugung eines gebundenen Labels muss, bei markiertem Zeichenobjekt, eine leicht abgewandelte Tastenkombination betätigt werden. Es wird ein entsprechendes Textelement mit einer direkten Verbindungslinie zum vorher markierten Element erstellt. Die Verbindungslinie zwischen Label und Element richtet sich selbständig beim Verschieben des Objektes oder des Textes neu aus (siehe Abbildung 7.20).

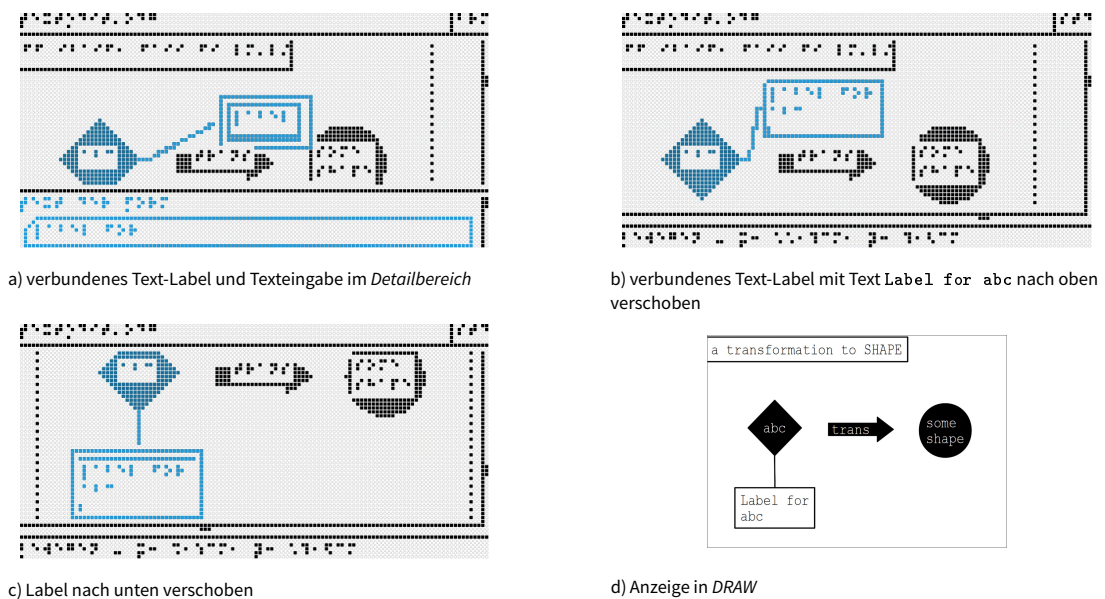


Abbildung 7.20: Erzeugung eines an ein Zeichenobjekt gebundenen Text-Label

## 7.3 Evaluation der Zeichenmethoden

Um die Benutzerfreundlichkeit der vier in Abschnitt 7.2 beschriebenen Zeichenmodalitäten (*Text-Menü*, *Gesteneingabe*, *Freihandzeichnen* und *Objektsilhouetten*) zu überprüfen, wurde eine vergleichende Evaluation durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob (Effektivität) und wie gut (Effizienz und Zufriedenstellung) blinde Menschen mit den einzelnen Modalitäten und dem System umgehen können, um taktile Grafiken zu erzeugen.

Insbesondere sollen die **Hypothesen 4 bis 7** zur Klärung von **Forschungsfrage 2** – „*Welche Interaktionstechniken eignen sich für blinde Menschen, um am Computer Bilder zu erstellen?*“ – betrachtet werden. Zur Überprüfung von **Hypothese 8** (Lesbarkeit und Qualität) wurden die mit dem Zeichensystem erstellten Grafiken in einem zweiten Schritt durch unabhängige sehende Personen bewertet.

### 7.3.1 Testaufgabe und Vorbereitung

Als zu erfüllende Aufgabe wurde das Nachzeichnen von vorgegebenen Bildern gewählt. Diese Aufgabe soll sicherstellen, dass das Zeichensystem und dessen Funktionen getestet werden, und nicht die Zeichenfähigkeiten beziehungsweise das Vorstellungsvermögen von am Test teilnehmenden blinden Menschen. Diese Fähigkeiten sind unter Menschen mit und ohne Beeinträchtigung des Sehens höchst unterschiedlich und sollen als beeinflussende Variable ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist diese Aufgabenstellung leicht wiederholbar.

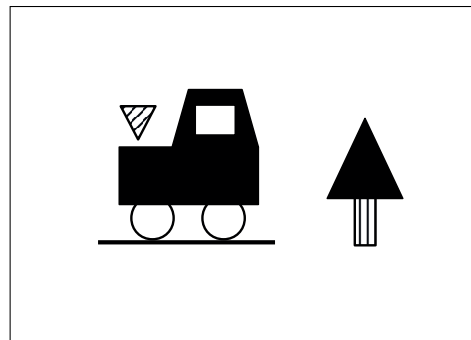
#### 7.3.1.1 Testgrafiken

In einem ersten Schritt müssen die in der Evaluation zu kopierenden Bilder definiert werden. Dabei sollen die folgenden Rahmenbedingungen erfüllt werden:

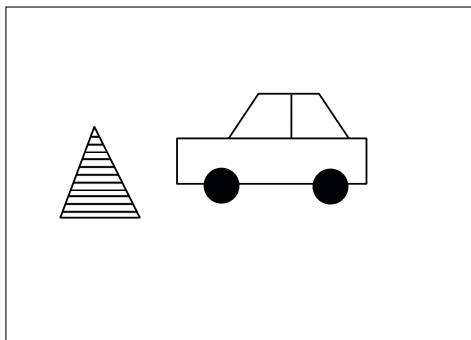
- Alle Bilder müssen durch Nutzende unter alleiniger Zuhilfenahme jeder der vier getesteten Modalitäten erzeugt werden können.
- Alle Bilder sollen eine vergleichbare, niedrige Komplexität aufweisen. Das heißt, sie sollen aus der gleichen Anzahl und möglichst gleichen Verteilung von Formen (grafischen Primitiven) zusammengesetzt sein. Aus diesem Grund bestehen alle Testbilder jeweils aus sechs Formen. Dies lässt ausreichend Gestaltungsspielraum zu, ohne dabei den Testablauf unnötig zu verkomplizieren.
- Alle Bilder sollen mindestens eine Verdeckung oder Maskierung enthalten und der Einsatz von Rotationsoperationen auf Standardformen soll notwendig sein.

Auf Basis dieser Rahmenbedingungen wurden mit Hilfe des *Tangram* Zeichenarbeitsplatzes fünf unterschiedliche Bilder<sup>13</sup> in der Größe DIN A4 gestaltet (siehe Abbildung 7.21). Diese wurden alle über das taktile Interface unter Zuhilfenahme der Braille-Text-Menü-Formenpaletten (Abschnitt 7.2.1) von einer sehenden Person erstellt. Dies beweist, dass alle Bilder mit dem Zeichenarbeitsplatz konstruierbar sind.

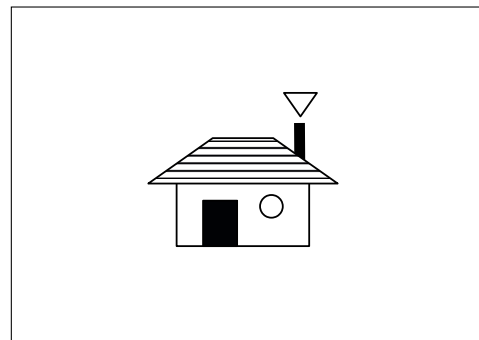
<sup>13</sup> Bei dem fünften Bild handelt es sich um ein Trainingsbild, welches Rahmenbedingung 2 (gleiche Anzahl von Primitiven) nicht erfüllen musste.



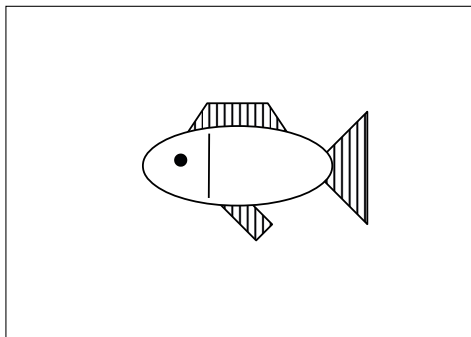
a) Trainingsbild Lokomotive mit Tannenbaum



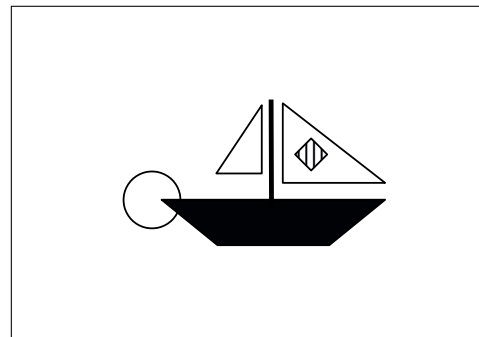
b) Auto mit Pylone



c) Haus mit rauchendem Schornstein



d) Fisch



e) Segelboot mit Sonne

**Abbildung 7.21:** Testgrafiken, die sehende und blinde Teilnehmende nachzeichnen sollten (Darstellung in 20 %)

*Annahmen* Es ist davon auszugehen, dass an der Evaluation teilnehmende blinde Personen einem deutlichen Lerneffekt im Umgang mit dem Zeichensystem selbst sowie mit grafischen Operationen im Allgemeinen unterliegen werden. Darüber hinaus werden sie wahrscheinlich selbstbewusster an Zeichenaufgaben herangehen, nachdem sie erste Aufgaben erfolgreich beendet haben. Dies kann dazu führen, dass sich die Ergebnisse im Laufe des Tests ins Positive entwickeln. Das bedeutet, Teilnehmende könnten bessere Ergebnisse produzieren, komplexere Aufgaben erfüllen oder einfache Aufgaben schneller abschließen. Dem stehen jedoch auch negative Faktoren, wie beispielsweise Ermüdung, gegenüber. Es ist jedoch anzunehmen, dass die positiven Lerneffekte einen größeren Einfluss auf die Messergebnisse haben werden. Diesen positiven Lerneffekten soll mit einem leichten Anstieg der Komplexität der nachzuzeichnenden Bilder und damit der zu lösenden Aufgabe im Laufe eines Testdurchlaufs entgegengewirkt werden.



### 7.3.1.2 Bewertung der Komplexität

Um die Komplexität der Testbilder zu überprüfen und Basiswerte für einen späteren Vergleich zu schaffen, wurden zwölf sehende Personen gebeten, die fünf Bilder in *LibreOffice DRAW* nachzuzeichnen. Alle Teilnehmenden, darunter sechs Frauen, waren im Alter zwischen 20 und 46 Jahren ( $\bar{x}$  = 31 Jahre) und hatten Erfahrung im Umgang mit Vektorzeichenprogrammen. Teilnehmende und Aufgabe

Die Bilder, die die Teilnehmenden nachzeichnen sollten, wurden ihnen als DIN A4 Ausdruck vorgelegt. Die Teilnehmenden durften sich danach so viel Zeit wie nötig zum Nachzeichnen des Bildes nehmen. Danach wurde ihnen das nächste Bild gezeigt. Als erstes wurde immer das Bild der *Lokomotive* (Abbildung 7.21 a) als Trainingsbild vorgelegt, danach die anderen vier Bilder in randomisierter Reihenfolge. Nach jedem Bild sollte die Komplexität des Bildes beziehungsweise der Aufgabe, es nachzuzeichnen, auf einer Skala von 1 (*sehr einfach*) bis 10 (*sehr schwer*) bewertet werden. Dabei sollte das erste Bild (*Lokomotive*) als Vergleichsbasis mit dem Wert 5 herangezogen werden<sup>14</sup>. Die Zeit für das Nachzeichnen jedes einzelnen Bildes wurde gemessen. Im Durchschnitt dauerte der gesamte Testdurchlauf etwa 20 Minuten. Prozedur

Unter Betrachtung der durchschnittlich benötigten Zeiten zum Nachzeichnen der Bilder (*Auto*:  $\bar{x}$  = 01:36 m mit SD = 20 s; *Haus*:  $\bar{x}$  = 01:36 m mit SD = 16 s; *Segelboot*:  $\bar{x}$  = 01:55 m mit SD = 16 s; *Fisch*:  $\bar{x}$  = 01:57 m mit SD = 21 s), findet sich eine leichte statistische Signifikanz für die Kombinationen aus *Auto* und *Haus* sowie *Segelboot* und *Fisch* (ANOVA mit post-hoc Tukey HSD Test,  $p < 0,05$ ). Die Bewertungen der Komplexitäten für die Bilder unterstreichen dieses Ergebnis (*Auto*:  $\bar{x}$  = 4,5 mit SD = 1,0; *Haus*:  $\bar{x}$  = 4,6 mit SD = 0,8; *Segelboot*:  $\bar{x}$  = 5,7 mit SD = 0,8; *Fisch*:  $\bar{x}$  = 5,6 mit SD = 0,9). Es lässt sich also feststellen, dass sich die Bilder unter Nutzung der GUI von *LibreOffice DRAW* leicht in ihrer Komplexität unterscheiden und damit die Bilder *Segelboot* und *Fisch* ein wenig aufwendiger nachzuzeichnen sind als die Bilder *Auto* und *Haus*. Auswertung

Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht einfach auf die Nutzung der nicht-visuellen Benutzungsschnittstelle übertragen. Dennoch geben sie einen Hinweis darauf, wie eine Sortierung der Bilder im nachfolgenden vergleichenden Test mit blinden Teilnehmenden aussehen kann, wenn der Schwierigkeitsgrad mit fortschreitendem Testverlauf leicht ansteigen soll: *Auto*, *Haus*, *Fisch* und zuletzt das *Segelboot*. Ergebnis

## 7.3.2 Testaufbau

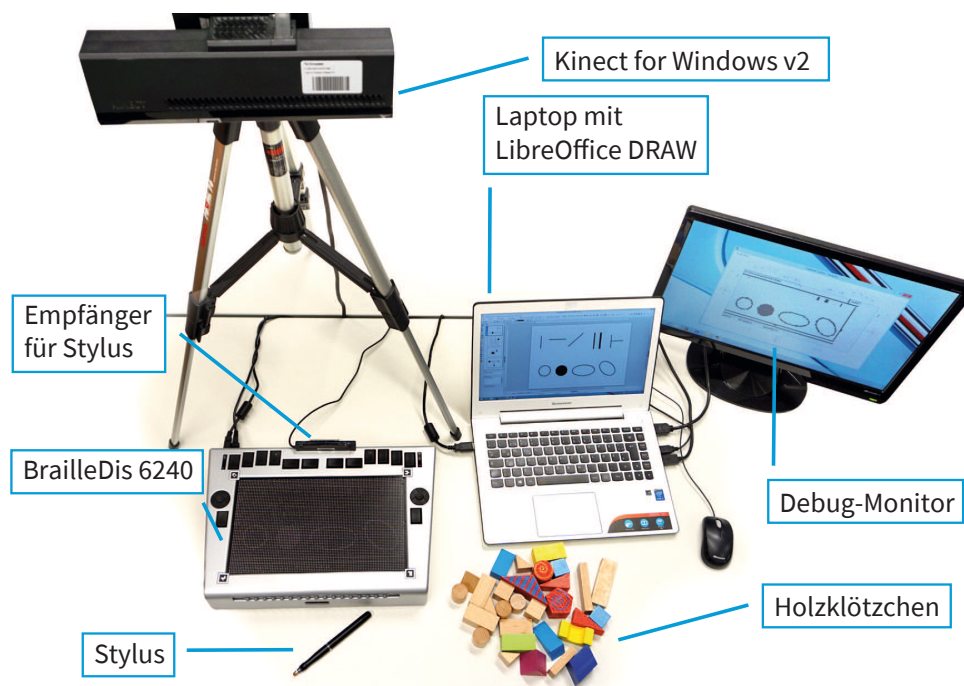
Die Testreihen erfolgten sowohl in einer kontrollierten Laborumgebung als auch bei Teilnehmenden zu Hause. Als Zeichenumgebung war die aktuellste Version 4.5.0.3 von *LibreOffice DRAW* im Einsatz. Diese wurde auf einem Laptop mit *Intel core i5* Prozessor mit zwei physischen und vier logischen Kernen sowie 8 GB Arbeitsspeicher<sup>15</sup> und *Windows 10* als Betriebssystem installiert. Ein zusätzlicher Monitor wurde zur Visualisierung der taktilen Ausgaben mittels *Debug-Monitor* (vergleiche Abschnitt 6.1.3) angeschlossen. Der Testaufbau ist in Abbildung 7.22 zu sehen. Setup des Zeichenarbeitsplatzes

Als taktiler Ausgabegerät wurde ein *BrailleDis 6240 (HyperBrailleS)* der Firma *metec* [omet16b] genutzt (vergleiche Abbildung 3.22 in Abschnitt 3.2.2.2). Dieses verfügt über eine Zehn-Finger-Touch-Erkennung und ist mit 27 Bedienelementen, die um die taktile Darstellungsfläche verteilt sind, bestens auch als Eingabegerät für eine sehbehinderte Person im Rahmen der Testaufgaben geeignet. Auditive Ausgaben erfolgten über die Lautsprecher des Laptops. nicht-visuelles Interface

<sup>14</sup> einfachere Bilder sollten als < 5 bewertet werden, schwierigere > 5

<sup>15</sup> der auch durch die interne Grafikkarte mitgenutzt wird

- Tiefenkamera und Objekte** Als Tiefenkamera zur Aufnahme von Objektsilhouetten wurde die in Abschnitt 7.2.4 beschriebene *Microsoft Kinect for Windows v.2.0* [oMic17] in der Version von 2015 auf einem dreibeinigen Kamerastativ montiert. Für den Test wurden Holzklötzchen aus einem Puzzlespiel für Kinder sowie Holzbauklötzchen verwendet. Alle verwendeten Objekte waren mindestens 11 mm hoch. Die Holzkörper repräsentierten verschiedene geometrische Grundkörper und -formen, darunter Würfel, Quader sowie verschiedene Arten und Größen von Dreiecken und Zylindern (vergleiche Abbildung 7.22). Aus diesen Grundformen sollten Teilnehmende dann versuchen, benötigte komplexe Formen zusammenzusetzen. Da die Testbilder nur wenige komplexe Formen aufweisen, wurde explizit darauf verzichtet, einen trapezförmigen Block anzubieten. Diese Form sollte durch das Zusammensetzen aus verschiedenen verfügbaren Körpern, beispielsweise zwei Dreiecken und einem Quader, selbst erzeugt werden.
- Gesten** Der eingesetzte templatebasierte Gestenerkennung [Sch14] wurde mit jeweils fünf Gestenausführungen für jede der in Abschnitt 7.2.2 beschriebenen Gesten trainiert. Dabei wurde auch auf einige Falschklassifizierungen aus der Pilotstudie [sBey17] als Trainingsdaten zurückgegriffen. Alle Testdurchläufe wurden mit denselben Trainingsdaten durchgeführt. Eine Individualisierung oder Adaption des Trainingsdatensatzes an die jeweilige Testperson wäre zwar technisch möglich gewesen, wurde aber nicht vorgenommen.
- Stylus** Zur Freihandeingabe wurde ein kabelloser Digitalisierungsstift der Firma *PEARL* mit *AirPen*-Technologie [oPen12; oPeg08] eingesetzt (siehe Abschnitt 7.2.3). Der Stift ist batteriebetrieben und deckt mit seinem Empfangsbereich die gesamte taktile Arbeitsfläche des Displays vollständig ab. Der Empfänger wurde am hinteren Teil des Gehäuses des taktilen Flächendisplays befestigt (siehe Abbildung 7.22). Als Stiftpitze wurde eine kurzhaarige Pinselspitze verwendet (vergleiche Abbildung 7.9 auf Seite 192). Der Stift verfügt über eine zusätzliche Taste am Schaft, die mit der Funktion „Menü öffnen“ belegt war. Die Stifteingaben wurden durch einen statischen Optimierungsalgorithmus mittels Vereinfachung und Glättung in eine Kurve umgewandelt. Einflussnahme auf den Grad der Glättung, wie er in Abschnitt 7.2.3 beschrieben ist, war im Rahmen der Evaluation noch nicht möglich.



**Abbildung 7.22:** Testaufbau multimodaler Zeichenarbeitsplatz für blinde Menschen mit taktilen Flächendisplays, 3D-Tiefenkamera und Holzformen

Während der Testdurchläufe wurde eine Vielzahl an Daten erhoben. Zum einen wurden automatisiert detaillierte Log-Dateien erzeugt, in die Nutzerinteraktionen des nicht-visuellen Interfaces geschrieben wurden<sup>16</sup>. Zum anderen wurden regelmäßig Speicherstände der sich entwickelnden Grafiken gesichert. Darüber hinaus wurden die Handbewegungen und verbalen Äußerungen von Teilnehmenden durch eine zusätzliche Videokamera aufgezeichnet, deren Blickfeld ebenfalls nur auf das taktile Flächendisplay gerichtet war. Zwei Personen waren anwesend, um den Arbeitsplatz technisch zu betreuen, die Teilnehmenden zu unterstützen (beispielsweise bei Nachfragen zu Tastenkommandos und Ähnlichem) und zum handschriftlichen Protokollieren von Fehlern und Besonderheiten in der Bedienung. Zudem wurden mehrere Fragebögen<sup>17</sup> im Rahmen von Interviews ausgefüllt.

Datenerhebung

### 7.3.3 Teilnehmende

Die Evaluation wurde als *Within-Subjects* Studie [CGK12] geplant und durchgeführt. Das heißt, alle Teilnehmenden wurden mit allen vier Testmodalitäten konfrontiert, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Es wurden ausschließlich blinde Teilnehmende gesucht. Insgesamt wurden zwölf Teilnehmende akquiriert, von denen sieben Personen bereits an früheren Studien teilgenommen hatten und somit schon Erfahrung im Umgang mit taktilen Flächendisplays und teilweise sogar dem Zeichensystem selbst hatten.

Teilnehmende und Akquise

Alle Teilnehmenden können Braille lesen und sind im Umgang mit dem Computer und Screenreader sowie Gesten auf Touchscreens<sup>18</sup> geübt. Die demografischen Daten der Teilnehmenden und deren Selbsteinschätzungen zum Umgang mit taktilen Grafiken und taktilen Flächendisplays (alias Stiftplatten) sind in Tabelle 7.1 zusammengefasst.

Fähigkeiten und Erfahrungen

**Tabelle 7.1:** Demografische Daten der Studienteilnehmenden; TG = *Taktile Grafik*; Skala der Selbsteinschätzung: 0 = *keine*, 1 = *sehr wenig* bis 5 = *sehr viel*

ID	Geschlecht	Alter	Erblindung	Erfahrung mit ...		
				Stiftplatten	TG Erkundung	TG Erstellung
P1	w	55	früh	5	5	4
P2	w	26	spät	0	2	4
P3	w	48	früh	1	4	2
P4	w	34	Geburt	4	4	3
P5	m	63	spät	0	1	5
P6	m	44	spät	4	5	3
P7	m	69	spät	0	5	3
P8	m	45	spät	2	1	1
P9	m	32	spät	4	4	2
P10	m	29	Geburt	5	5	2
P11	m	40	spät	4	4	2
P12	m	25	spät	4	4	2

<sup>16</sup> Die Log-Dateien enthalten Audioausgaben, Systemrückmeldungen über Erfolge, Fehler und Warnungen sowie Nutzerinteraktionen, wie Tasten und Gesten, jeweils mit Zeitstempel.

<sup>17</sup> Pre, viermal TLX, Post mit SUS

<sup>18</sup> beispielsweise durch die Bedienung von Mobiltelefonen etc. (vergleiche Abschnitt 2.3.2)

### 7.3.4 Testablauf und Materialien

Ein Testdurchlauf zur Evaluierung aller vier Zeichenmodalitäten dauerte im Schnitt 5:30 h, exklusive Pausen. Die Tests wurden alle in einem Durchgang mit ausreichend Erholungspausen durchgeführt. Ein Testdurchlauf kann in fünf Phasen unterteilt werden:

1. **Eingangsfragebogen:** Fragebogen zu demografischen Daten und Vorerfahrungen.
2. **Praktische Einführung in das Zeichensystem:** Teilnehmende wurden im Umgang mit der Hardware und dem Zeichensystem selbst geschult. Es wurden die relevanten Teile des nicht-visuellen Interfaces<sup>19</sup>, mit Navigations- und Manipulationsfunktionen sowie alle vier Zeichenmodalitäten ausgiebig und an praktischen Beispielen erklärt und vorgeführt. Darüber hinaus wurde eine kurze Schulung zu grafischen und gestalterischen Aspekten gegeben. Hier wurden verschiedene geometrische Formen, und wie sich diese auf dem taktilen Display darstellen, vorgestellt sowie Konzepte zu Parallelität, Symmetrie, Verdeckung und Maskierung erklärt und mit taktilen Beispielen erläutert. Diese Phase dauerte im Durchschnitt 2:00 h.
3. **Training:** Das Trainingsbild der *Lokomotive* (siehe Abbildung 7.21 a) sollte mithilfe aller vier Zeichenmodalitäten in Kombination erstellt, und so der Umgang mit diesen noch einmal geübt werden. Dabei gab der Testleiter jeweils an, welche Form mit welcher Modalität zu erstellen war. Diese Phase dauert im Durchschnitt 0:45 h.
4. **Bilder nachzeichnen:** In dieser Phase sollten die Teilnehmenden die vier Testbilder (Abbildung 7.21 b – e) nacheinander mit dem Zeichenarbeitsplatz nachzeichnen. Die Reihenfolge der Bilder war fix nach der Ordnung des Schwierigkeitsgrads aufsteigend (vergleiche Abschnitt 7.3.1.2): *Auto*, *Haus*, *Fisch*, *Segelboot*. Jedes Testbild durfte nur mittels einer der vier Zeichenmodalitäten sowie den entsprechenden Manipulationsmöglichkeiten erstellt werden. Die Reihenfolge der Zeichenmodalitäten wurde über die zwölf Teilnehmenden zufällig, aber gleichmäßig verteilt.

Jedes Testbild wurde den Teilnehmenden als taktiler Prägedruck in einer Auflösung von 20 dpi vorgelegt. Zudem wurde den Teilnehmenden eine mögliche Abfolge zur Konstruktion der Zeichnung aus den einzelnen Teilformen durch den Testleitenden verbal erläutert. Dies sollte ausschließen, das Teilnehmende aufgrund fehlender Fähigkeiten der Grafikkonstruktion die Aufgabe nicht erfüllen können. Die Teilnehmenden durften natürlich von diesem Vorschlag abweichen.

Bevor die Probanden die Modalität erfuhren, mit der sie das Bild nachzeichnen sollten, sollten sie bewerten, wie schwierig sie das Nachzeichnen dieses Bildes für sich selbst einschätzen. Nach dem erfolgreichen Zeichnen jedes Bildes sollten die Probanden bewerten, wie zufrieden sie mit dem Ergebnisbild sind. Zusätzlich wurde jeweils ein Task Load Index (TLX) Fragebogen [HS88] zur benutzten Zeichenmodalität im Rahmen eines Interviews ausgefüllt. Dieser dient dazu, die individuelle mentale Anstrengung bei der Nutzung des Systems beziehungsweise der Zeichenmodalität zu erfassen.

5. **Abschlussfragebogen mit SUS:** Neben einigen offenen Fragestellungen zum Umgang und zu möglichen Problemen und Erweiterungswünschen des Systems selbst wurden für jede der vier Zeichenmodalitäten Vor- und Nachteile erfragt. Abschließend wurde ein System Usability Scale (SUS) Fragebogen [Bro96] zum Gesamtsystem ausgefüllt.

---

<sup>19</sup> Unter anderem wurden nicht benötigte Funktionen zur Kollaboration und Annotation weggelassen.

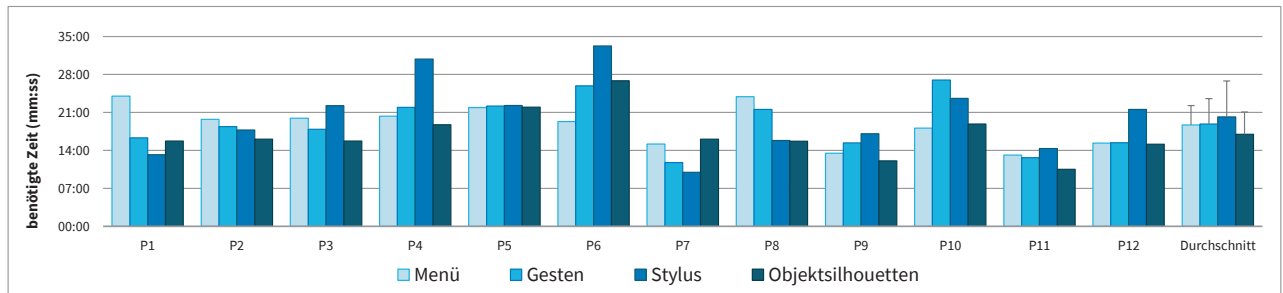


Abbildung 7.23: Benötigte Zeit je Bild und Zeichenmodalität pro Teilnehmendem sowie im Durchschnitt mit Standardabweichung

## 7.3.5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die erhobenen Daten sowie Anmerkungen der Teilnehmenden während des Tests ausgewertet und beschrieben. Danach erfolgt eine unabhängige Bewertung der Güte der erzeugten Ergebnisbilder durch externe Juroren.

### 7.3.5.1 Auswertung der Evaluationsdaten

Die folgenden Ergebnisse ergeben sich aus der Auswertung der Fragebögen sowie der Protokolle und Messungen.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe aus sehenden Personen (vergleiche Abschnitt 7.3.1.2), die im Durchschnitt 01:46 m pro Bild (SD = 00:22 m) benötigten, brauchten die blinden Teilnehmenden im Durchschnitt 18:40 m (SD = 05:02 m) pro Bild und damit mehr als zehnmal so lange, um ein Bild nachzuzeichnen. Die durchschnittlich benötigten Zeiten der Teilnehmenden nach Bild und Modalität sind in Abbildung 7.23 abgetragen. Eine ANOVA zeigt dabei keinen signifikanten Einfluss des Bildes ( $F = 2,45$ ,  $p = 0,08$ ) oder der Zeichenmodalität ( $F = 1,72$ ,  $p = 0,18$ ) auf die benötigte Zeit.

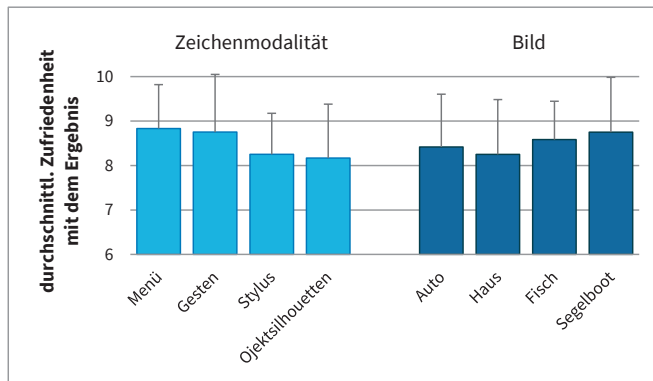
benötigte Zeit zum  
Nachzeichnen

Die Teilnehmenden sollten vor Beginn jedes Nachzeichnens die Schwierigkeit des Bildes und der Aufgabe auf einer Skala von 1 (*sehr einfach*) bis 10 (*sehr schwer*) einschätzen. Die Vorabeeschätzungen der blinden Teilnehmenden stimmen dabei nicht zu 100 % mit den Schwierigkeitsbewertungen aus dem Vortest überein. Es ergeben sich folgende Einschätzungen: *Auto*  $\bar{x} = 3,3$  (SD = 1,3), *Haus*  $\bar{x} = 3,7$  (SD = 1,4), *Fisch*  $\bar{x} = 4,2$  (SD = 1,3) und *Segelboot*  $\bar{x} = 3,9$  (SD = 1,4). Das *Segelboot* wurde also als leichter eingeschätzt als der *Fisch*, was auch daran liegen kann, dass Teilnehmende im Laufe des Tests mehr Selbstvertrauen in ihre Fähigkeiten und das System bekamen und sie deshalb die letzte Aufgabe als einfacher einschätzten.

Bewertung der  
Schwierigkeit

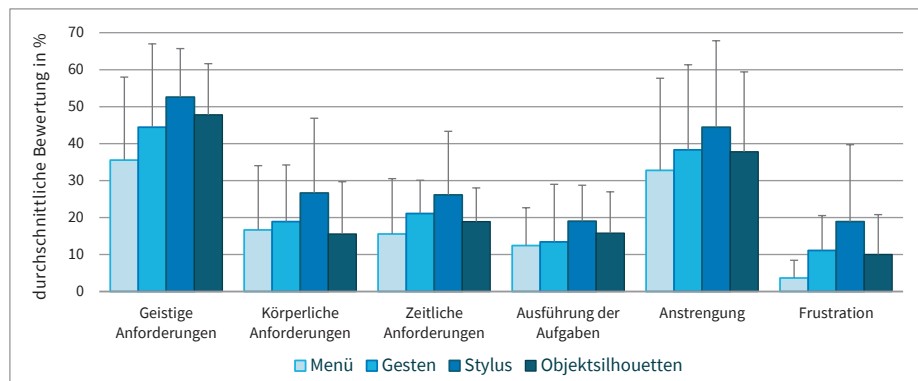
Im Allgemeinen waren die Teilnehmenden äußerst zufrieden mit ihren Zeichenergebnissen (vergleiche Abbildung 7.24). Auch hier zeigt die Anwendung einer ANOVA keinen signifikanten Einfluss der Zeichenmodalität ( $F = 1,02$ ,  $p = 0,39$ ) oder des Bildes selbst ( $F = 0,39$ ,  $p = 0,76$ ) auf die Zufriedenheit der Teilnehmenden mit ihrem Ergebnisbild. Dennoch ist aus den Daten und den Aussagen der Teilnehmenden zu entnehmen, dass es zwei positive Einflüsse auf die Zufriedenheit gibt: Zum einen das Nutzen von Zeichenmodalitäten, die idealisierte Standardformen erzeugen (wie das *Menü* oder *Gesten*), und zum anderen die fortschreitende Übung mit dem Zeichensystem und das dadurch gewonnene Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten. Drei Teilnehmende berichteten im Zuge dieser Fragestellung, dass sie mit dem Ergebnis zufriedener sind, wenn sie die Aufgabe als herausfordernder betrachteten. Eine statistische Signifikanz kann zu diesen Aussagen aus der Datenlage und dem Zusammenhang zwischen der initialen Bewertung der Schwierigkeit und anschließender Zufriedenheit mit dem Ergebnis jedoch nicht festgestellt werden (*Spearman's Rho*  $r_s = 0,18$ ,  $p = 0,22$ ).

Zufriedenstellung

**Abbildung 7.24:**

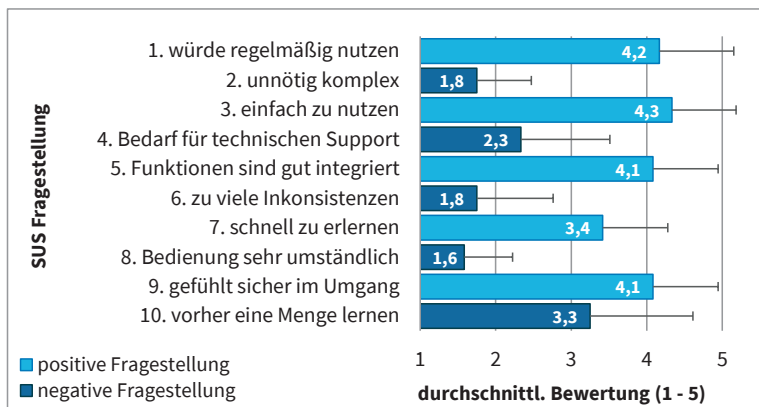
Bewertung der Zufriedenheit mit dem Zeichnergebnis nach Zeichenmodalität und Bild (Mittelwerte und Standardabweichungen, n = 12)

**Belastung TLX** Die Auswertung der NASA-TLX Bewertungen<sup>20</sup> für die einzelnen Zeichenmodalitäten ergab erwartungsgemäß signifikante Unterschiede. Abbildung 7.25 gibt einen Überblick über die einzelnen Teilbewertungen. Bei den Bewertungen ist zu beachten, dass niedrige Werte eine geringere mentale und körperliche Belastung anzeigen und damit besser sind als hohe Werte. Zusammengefasst hat das Erstellen von Formen mittels *Text-Menüs* die geringste Belastung ( $\bar{x} = 19,4$  mit  $SD = 15,8$ ), gefolgt vom *Abscannen von Realobjekten (Objektsilhouetten)* mittels Kamera ( $\bar{x} = 24,3$  mit  $SD = 13,5$ ) und dem Einsatz von *Gesten* zum Zeichnen ( $\bar{x} = 24,6$  mit  $SD = 15,8$ ). Das *Freihandzeichnen* mittels Stylus ( $\bar{x} = 31,3$  mit  $SD = 17,4$ ) zeigte erwartungsgemäß eine deutlich höhere Belastung. Eine statistische Analyse mittels gepaarter t-Tests ergab signifikante Unterschiede in der Belastung für die Paarungen *Text-Menü* und *Gesten* ( $t = -2,705$ ;  $df = 11$ ;  $p < 0,05$ ), *Text-Menü* und *Freihandzeichnen* mittels Stylus ( $t = -3,181$ ;  $df = 11$ ;  $p < 0,01$ ) sowie dem *Freihandzeichnen* und dem Einsatz der *Holzklötzchen* ( $t = 3,099$ ;  $df = 11$ ;  $p = 0,01$ ).

**Abbildung 7.25:** TLX Bewertungen je Kategorie und Zeichenmodalität (Mittelwerte und Standardabweichungen, n = 12)

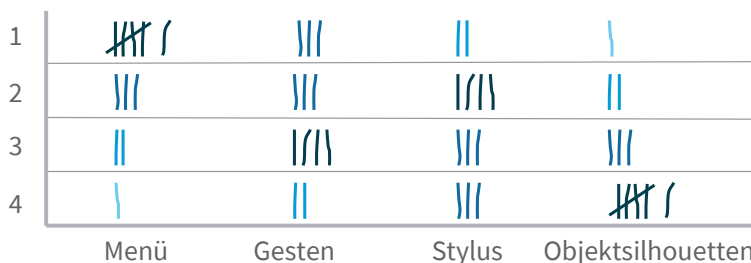
**Gebrauchstauglichkeit SUS** Zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit (alias Usability) wurde ein auf das Gesamtsystem bezogener System Usability Scale (SUS) Fragebogen ausgefüllt. Abbildung 7.26 zeigt die Ergebnisse im Detail. Mit einer durchschnittlichen Gesamtbewertung von 73,5 bewerteten die Teilnehmenden das Zeichensystem als überdurchschnittlich gut. Der Wert kann auch als Prozentzahl der SUS interpretiert werden, wobei 100 für ein im Sinne der Gebrauchstauglichkeit perfektes System steht [Bro96]. Als überdurchschnittlich gute Systeme werden Wertungen über 68 angesehen. Hauptkritikpunkte in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit waren der große Lernaufwand, bis man das System effektiv und effizient nutzen kann, sowie der zusätzliche technische Aufwand und eventuell benötigte technische Support beim Einsatz des Tiefenkamera-Systems.

<sup>20</sup> ohne individuelle Gewichtung der Faktoren, d. h. alle Faktoren sind gleich hoch gewichtet

**Abbildung 7.26:**

Bewertung der System Usability Scale (SUS) Faktoren (Mittelwerte und Standardabweichungen, n = 12)

Nachdem alle vier Zeichenaufgaben durchlaufen waren, wurden die Teilnehmenden nach ihren Präferenzen der Zeichenmodalitäten gefragt. Dazu sollten sie eine Reihenfolge angeben, in der sie die Zeichenmethoden präferieren. Abbildung 7.27 gibt einen Überblick über die Verteilung der Platzierungen. Es zeigt sich keine generelle Präferenz für eine spezielle Methode über die zwölf Teilnehmenden hinweg. Dennoch ist eine Tendenz hin zu robusten und den Nutzenden bekannten Interaktionsmechanismen zu erkennen. Vor allem die Arbeit mit den *Text-Menüs* wurde häufig als favorisierte Methode genannt. Der Einsatz von *Gesten* und des *Digitalisierungsstiftes (Stylus)* wurde aufgrund des direkteren Zugangs zum Zeichnen ebenfalls oft durch die Teilnehmenden hoch in ihrer Präferenzbewertung einsortiert. Der Einsatz der *Objektsilhouetten* wurde, nicht zuletzt wegen des zusätzlichen technischen Aufwands, selten präferiert.

**Abbildung 7.27:**

Anzahl der genannten Platzierung in der Präferenzreihenfolge pro Zeichenmodalität von Platz 1 bis 4 (n = 12)

### Anzahl Nutzerinteraktionen

#### Anmerkung

Die hier aufgezeigten Daten basieren auf automatisch erzeugten Log-Dateien. Diese können im Einzelfall theoretisch lückenhaft sein. Ein Großteil der Nutzerinteraktionen mit dem System sollte jedoch protokolliert sein. Die im Folgenden getroffenen Aussagen sind in dieser Hinsicht zu bewerten, aber als valide anzusehen.

Aus den protokollierten Nutzerinteraktionen mit dem Zeichensystem lassen sich Rückschlüsse auf die Unterschiede in den notwendigen Interaktionsschritten zwischen den vier Zeichenmodalitäten ziehen. Dabei werden im Folgenden die Nutzerinteraktionen in vier verschiedenen Gruppen zusammengefasst:

Interaktionsgruppen



**Selektion:** Selektionsgesten, deterministisches Durchlaufen des Szenenbaums oder von Eck- und Kontrollpunkten einer Freiform, um diese zu bearbeiten oder Informationen aufzurufen

**Navigation:** Zooming- und Panning-Operationen sowie Sprungbefehle zur Orientierung innerhalb einer Zeichnung

**Manipulation:** Aktionen zur Veränderung von Elementeigenschaften (Position, Größe, Gestalt, etc.)

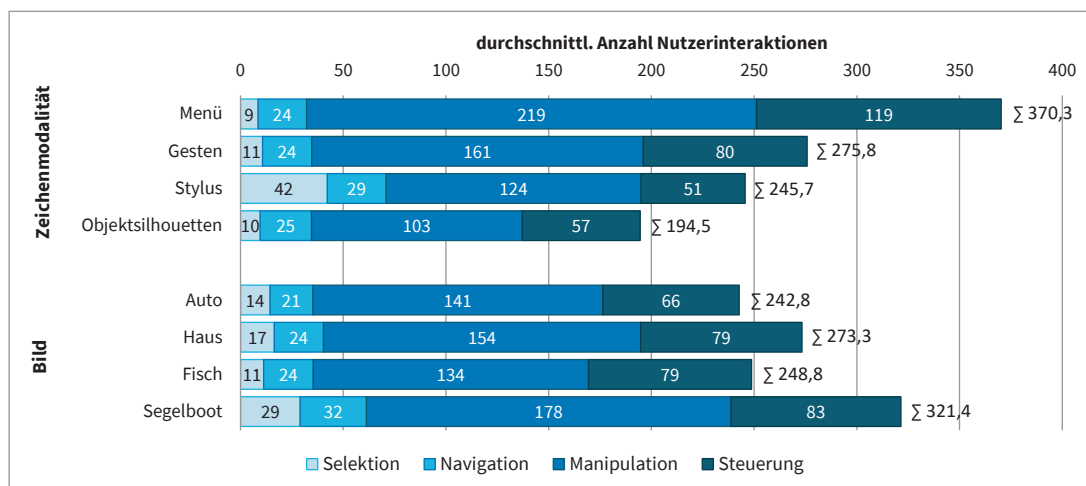
**Steuerung:** Kommandos zur Steuerung des Zeichensystems durch Anpassung von Einstellungen oder das Versetzen in verschiedene Modi – hauptsächlich wird hier der *Moduswechsel des Rotationsmenüs* für die Bearbeitungsmodi (siehe Abschnitt 6.1.2.3) aufgelistet

Unterschiede Eine statistische Auswertung<sup>21</sup> ergab für keine Konstellation signifikante Unterschiede in der Anzahl der ausgeführten Nutzerinteraktionen – weder zwischen den Zeichenmodalitäten noch zwischen den Bildern selbst. Dennoch lassen sich aus den Daten einige Unterschiede ablesen.

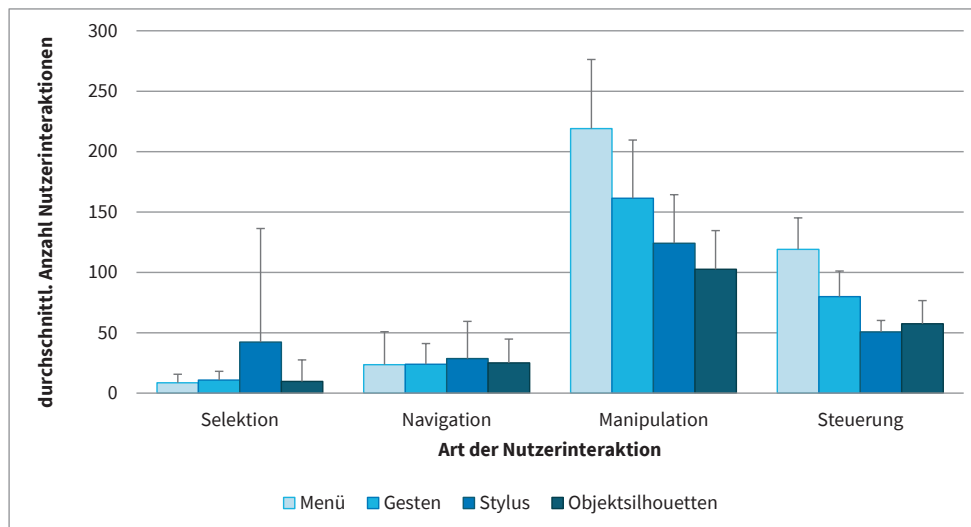
Abbildung 7.28 zeigt die durchschnittlichen Interaktionen zum Erreichen der Zielgrafik. Dabei ist klar zu sehen, dass das Erstellen von Zeichnungen mittels *Text-Menüs* deutlich mehr Interaktionsschritte notwendig macht, als dies bei den anderen Zeichenmodalitäten der Fall ist. Je näher sich die Initialform der angestrebten finalen Form und deren Platzierung annähert, umso weniger Bearbeitungsschritte sind demzufolge zur Aufgabenerfüllung notwendig. Gerade das Arbeiten mit *Objektsilhouetten* zeigt hier sein Potential.

Unterschiede nach Zeichenmodalität In Abbildung 7.29 sind die durchschnittlichen Interaktionen nach Typ und Zeichenmodalität aufgeschlüsselt. Es zeigt sich, dass das Arbeiten mit den *Text-Menü-Paletten* besonders viel Nachbearbeitung (Manipulation und Moduswechsel = Steuerung) notwendig macht. Das Zeichnen von Freiformen mit dem *Digitalisierungsstift* zeigt in der nachträglichen manuellen Optimierung des Zeichenpfades seinen Aufwand. Dazu müssen erst die unerwünschten oder unpassenden Eckpunkte des Freihandpfades angewählt und dann entsprechend nachjustiert

<sup>21</sup> gepaarte t-Tests bei abhängigen Stichproben über die Anzahl der protokollierten Interaktionen je Variable (Interaktionstyp, Zeichenmodalität, Bild)



**Abbildung 7.28:** Anzahl Nutzerinteraktionen mit dem Zeichensystem nach Zeichenmodalität und Bild (n = 12)



**Abbildung 7.29:** Anzahl Nutzerinteraktionen nach Interaktionstyp und Zeichenmodalität (Mittelwerte und Standardabweichungen,  $n=12$ )

werden. Diese Arbeitsschritte zeichnen sich klar in der Anzahl notwendiger Selektionsoperationen ab. Ob überhaupt und wie ambitioniert eine Testperson den gezeichneten Freihandpfad im Nachgang für sich optimiert hat, blieb ihr selbst überlassen und ist auch von der Güte der initial gezeichneten Form abhängig. Dies zeigt sich in der relativ hohen Standardabweichung. Darüber hinaus sind die Zeichenmethoden in der Anzahl notwendiger Operationen zur Orientierung oder Selektion von Elementen im Aufwand vergleichbar gering.

Im Vergleich der Bilder (siehe Abbildung 7.28 unten) zeigen sich nur geringe Unterschiede in der Anzahl der notwendigen Interaktionsschritte zwischen den ersten drei Bildern: *Auto*, *Haus* und *Fisch*. Das *Segelboot* hingegen scheint deutlich aufwendiger zu sein. Die Zunahme an Manipulationsschritten ist als eine Kombination aus dem leicht höherem Schwierigkeitsgrad (vergleiche Abschnitt 7.3.1.2) und den gesteigerten Ambitionen der Testpersonen zu interpretieren (vergleiche Abschnitt 7.3.5.3).

Unterschiede nach Bild

### Weitere Anmerkungen zu den Zeichenmodalitäten

Gerade die einfache und robuste Bedienung und die dadurch entstehenden perfekten Formen wurden bei der Interaktion mittels *Text-Menüs* durch die Teilnehmenden hervorgehoben. Dennoch bemängelten sie die stark eingeschränkte Anzahl an verfügbaren Formen. Einige Probanden forderten mehr spezialisierte Formen, die sich beispielsweise in weiter verschachtelten Menüs organisieren sollten. Ein weiterer Kritikpunkt war die Platzierung der Formen. Teilnehmende wünschten sich, dass Formen nicht mittig im *Darstellungsbereich* entstehen sollten, wenn sie dort andere Formen überdecken würden. Lieber sollten die neuen Formen an Stellen entstehen, wo noch keine andere Form existiert.

Braille-Text-Menü

Die Wohlgeformtheit und der direktere Zugang zum Zeichnen wurde für das Erstellen mittels *Gesten* von den Teilnehmenden als sehr positiv herausgestellt. Gerade in Bezug auf die Arbeit mit den *Text-Menüs* sahen sie deutliche Vorteile der besseren Platzierung und Ausrichtung. Anlass für Kritik boten die geringe Auswahl an verfügbaren Formen, die unzuverlässige Gestenerkennung (Korrektklassifikationsrate: 58 %) sowie die als besonders hoch eingeschätzte mentale Belastung bei der Ausführung und Ausrichtung der Gesten.

Gesten

Wenn es um die Erstellung sehr komplexer Formen geht, gaben alle Teilnehmenden an, den *Digitalisierungsstift* zum Freihandzeichnen einsetzen zu wollen. Allerdings kritisierten die

Stylus

Teilnehmenden die schwierige Handhabung des Stiftes im Allgemeinen sowie den Grad der Optimierung ihrer Eingabe. Diese beiden Faktoren erschwerten es den Teilnehmenden nach eigenen Angaben, ihre angestrebten Ziele zu erreichen.

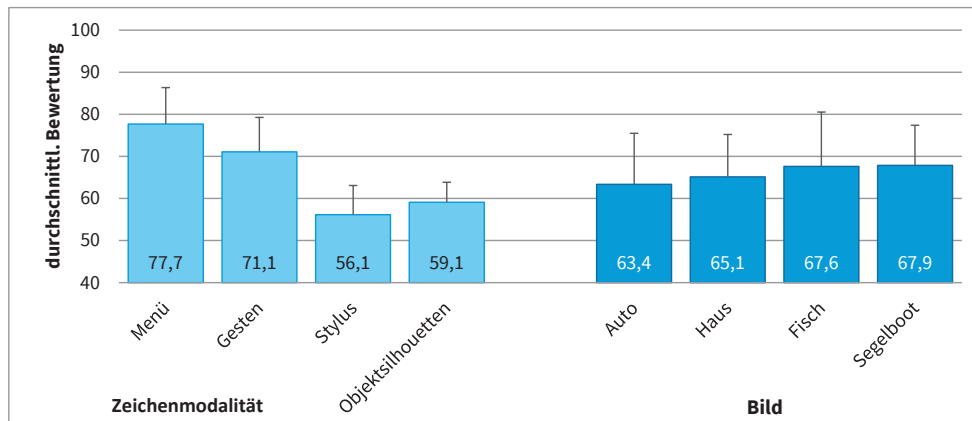
**Objektsilhouetten** Ähnliche Kritikpunkte wurden auch über das Abscannen mittels *Tiefenkamera* berichtet. Der Umgang mit den leichten Holzklötzchen war diffizil und verlangte Fingerspitzengefühl, vor allem beim Zusammensetzen der Trapezform aus mehreren Klötzchen. Hauptkritikpunkt war aber, dass die resultierenden Formen nicht dem erwarteten Ideal entsprachen. Die Teilnehmenden gingen davon aus, beim Auflegen eines Würfels ein ebenso exaktes Quadrat und beim Aufsetzen eines Zylinders einen perfekten Kreis zu erhalten – wie dies beim *Text-Menü* oder den *Gesten* der Fall ist.

### 7.3.5.2 Bewertung der Güte der Ergebnisgrafiken

**Teilnehmende** Um die Güte der erstellten Zeichnungen (**Hypothese 8**) beziehungsweise den Erfüllungsgrad der Aufgabe – eine existierende Zeichnung nachzuzeichnen – zu bemessen, wurden externe unabhängige sehende Juroren akquiriert, die die Ähnlichkeit der Bilder zum Original bewerten sollten. 59 Juroren im Alter zwischen 19 und 60 Jahren ( $\bar{x}$  30 Jahre), darunter 33 Frauen, wurden für die Bewertung mittels Online-Fragebogen angeworben. 75 % der Teilnehmenden gaben an, bereits Erfahrung mit Grafikprogrammen zu haben.

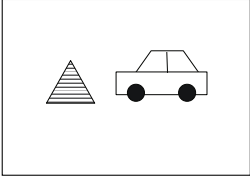
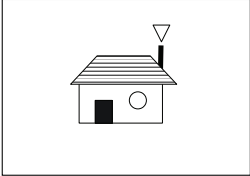
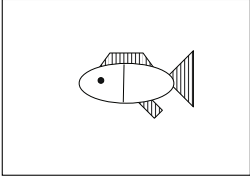
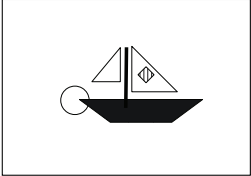
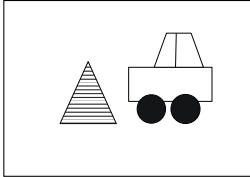
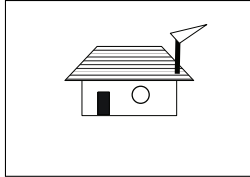
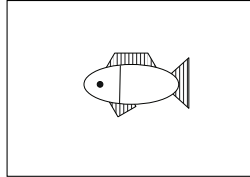
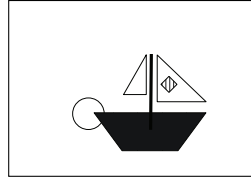
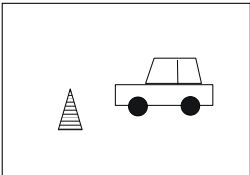
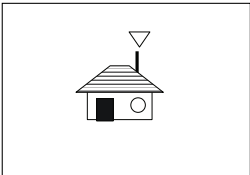
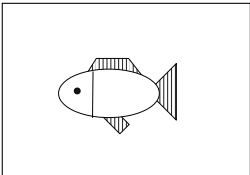
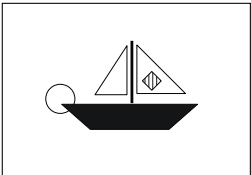
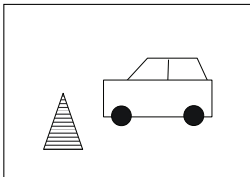
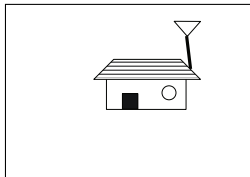
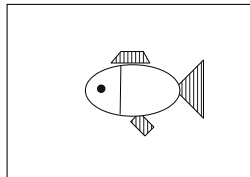
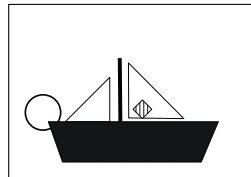
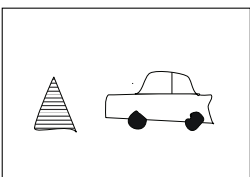
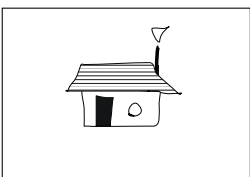
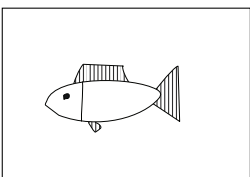
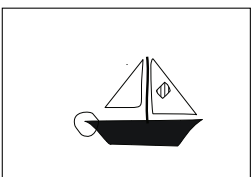
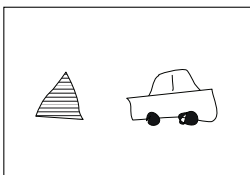
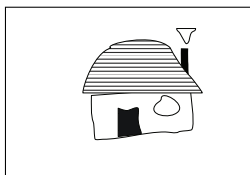
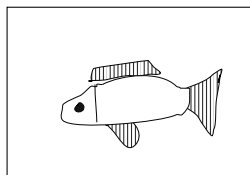
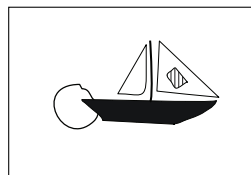
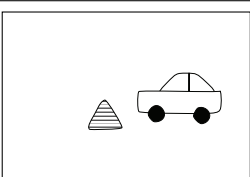
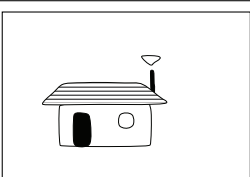
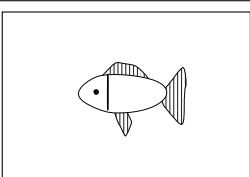
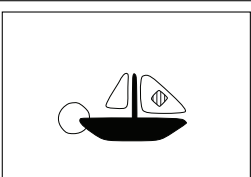
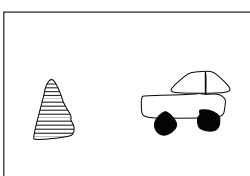
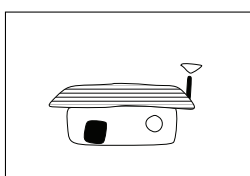
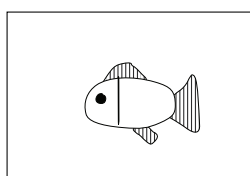
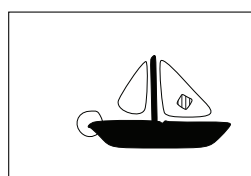
**Aufgabe** Im Rahmen einer Onlineumfrage wurden die sehenden Teilnehmenden gebeten, spontan zu bewerten, für wie ähnlich sie zwei Bilder erachteten. Dazu wurde auf der linken Seite immer das Originalbild gezeigt und rechts daneben ein nachgezeichnetes Bild. Mit einem Schieberegler konnte der Grad der Ähnlichkeit eingegeben werden (0 % = *komplett unterschiedlich* bis 100 % = *identisch*). Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, möglichst spontan ihre Ähnlichkeitsbewertungen abzugeben.

**Ablauf** Insgesamt bestand die Befragung aus 112 Bildvergleichen. Die ersten acht Vergleiche wurden nur als Training und Kontrollbewertungen genutzt und gehen nicht in die Bewertung mit ein. Die restlichen 104 Bildvergleiche wurden randomisiert verteilt. Darunter waren acht Kontroll-Vergleiche von Original zu Original, 12 \* 4 Bildvergleiche der Ergebnisbilder der sehenden Personen aus dem Vortest (siehe Abschnitt 7.3.1.2) und 12 \* 4 Bildvergleiche der Ergebnisbilder, die mit den verschiedenen Zeichenmodalitäten durch blinde Menschen erstellt wurden. Das vollständige Ausfüllen des Fragebogens mit allen Vergleichen benötigte im Durchschnitt 14:24 m.



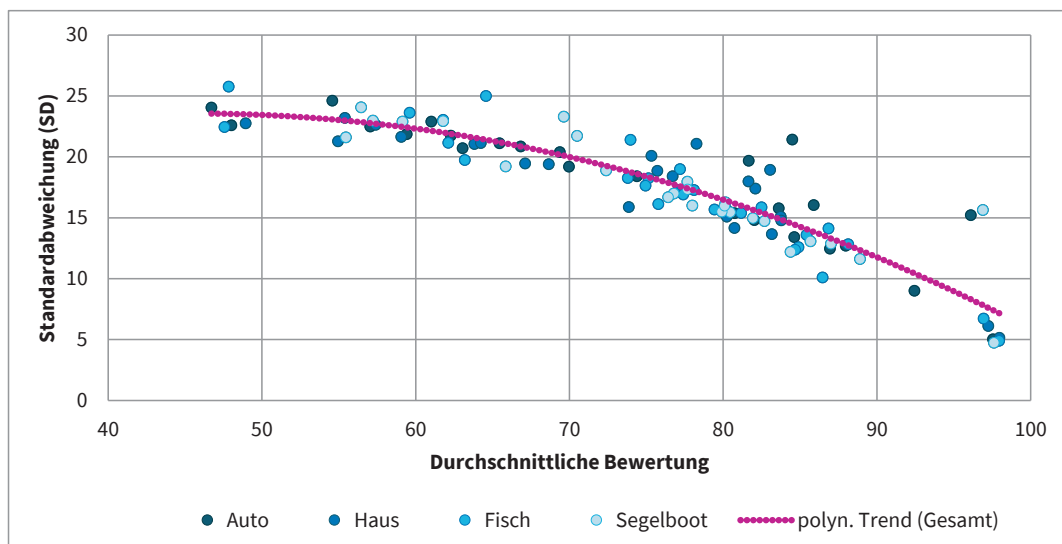
**Abbildung 7.30:** Bewertung der Bilder durch Juroren nach Zeichenmodalität und Bild (Mittelwerte und Standardabweichungen, n = 59)

**Tabelle 7.2:** Auswahl der am besten und am schlechtesten bewerteten Ergebnisgrafiken, die durch blinde Personen mit dem *Tangram* Arbeitsplatz nachgezeichnet wurden, aufgeteilt nach Zeichenmodalität (Darstellung in 10 % der Originalgröße mit Angaben der durchschnittlichen Bewertung und Standardabweichung)

<b>Text-Menü</b>	beste	 Ø Rating: 86,9 (SD = 12,5)	 Ø Rating: 81,6 (SD = 18,0)	 Ø Rating: 88,1 (SD = 12,8)	 Ø Rating: 81,9 (SD = 15,0)
	schlechteste	 Ø Rating: 59,4 (SD = 21,9)	 Ø Rating: 64,2 (SD = 21,1)	 Ø Rating: 73,8 (SD = 18,2)	 Ø Rating: 70,5 (SD = 21,7)
<b>Gesten</b>	beste	 Ø Rating: 70,0 (SD = 19,2)	 Ø Rating: 76,7 (SD = 18,4)	 Ø Rating: 85,4 (SD = 13,6)	 Ø Rating: 80,1 (SD = 16,0)
	schlechteste	 Ø Rating: 63,1 (SD = 20,7)	 Ø Rating: 67,1 (SD = 19,5)	 Ø Rating: 63,2 (SD = 19,7)	 Ø Rating: 55,5 (SD = 21,6)
<b>Freihandzeichnen / Stylus</b>	beste	 Ø Rating: 61,0 (SD = 22,9)	 Ø Rating: 59,1 (SD = 21,6)	 Ø Rating: 62,1 (SD = 21,2)	 Ø Rating: 69,6 (SD = 23,3)
	schlechteste	 Ø Rating: 46,7 (SD = 24,0)	 Ø Rating: 48,9 (SD = 22,8)	 Ø Rating: 47,6 (SD = 22,4)	 Ø Rating: 59,1 (SD = 22,9)
<b>Objektsilhouetten</b>	beste	 Ø Rating: 62,3 (SD = 21,7)	 Ø Rating: 63,8 (SD = 21,1)	 Ø Rating: 64,6 (SD = 25,0)	 Ø Rating: 65,8 (SD = 19,2)
	schlechteste	 Ø Rating: 48,0 (SD = 22,6)	 Ø Rating: 54,9 (SD = 21,3)	 Ø Rating: 59,6 (SD = 23,6)	 Ø Rating: 56,5 (SD = 24,1)

**Bewertung** Auf der Grundlage der Ähnlichkeitsbewertungen wurde eine Gütebewertung für die Zeichnungen der blinden Teilnehmenden gemittelt. Für jede der vier Zeichenmodalitäten werden in Tabelle 7.2 die jeweils am besten und am schlechtesten bewerteten Ergebnisse vorgestellt. Vergleicht man die einzelnen Zeichenmodalitäten miteinander (siehe Abbildung 7.30), so lässt sich sagen, dass Zeichnungen, die mit den *Text-Menüs* erstellt wurden, im Schnitt die höchsten Bewertungen erhielten ( $\bar{x} = 77,7$  mit  $SD = 8,7$ ). Danach folgen das Zeichnen mittels *Gesten* ( $\bar{x} = 71,1$  mit  $SD = 8,2$ ), das Erfassen von *Objektsilhouetten* mit der Tiefenkamera ( $\bar{x} = 59,1$  mit  $SD = 4,8$ ) und zuletzt die *Freihandzeichnungen* mit dem Digitalisierungsstift ( $\bar{x} = 56,1$  mit  $SD = 6,9$ ). Der Faktor der Zeichenmodalität hat einen deutlicheren Einfluss auf die Qualitätsbewertung als das nachzuzeichnende Bild. Im Vergleich zur sehenden Kontrollgruppe, deren durchschnittliche Ähnlichkeitsbewertung über alle Bilder hinweg bei 80,2 ( $SD = 5,3$ ) lag, schneiden die Bilder der blinden Teilnehmenden über alle Zeichenmodalitäten hinweg mit 66,0 ( $SD = 11,4$ ) erstaunlich gut ab.

**Inter-Rater Reliability** Es wurde versucht, eine möglichst breite Masse an unterschiedlichen Menschen als Bewertende zu gewinnen, da die Aufgabe Bilder zu bewerten stark subjektiv geprägt ist. Über die Gruppe der Teilnehmenden wurde eine Urteilsübereinstimmung (*Inter-Rater Reliability*) mit einem *Krippendorff's Alpha Koeffizienten* [Kri18] von 0,3 ermittelt. Dies entspricht nach [LK77] einer relativen Aussagekraft von „angemessen“ („fair“), was eher für wenig Einigkeit unter den Juroren spricht. Diese Uneinigkeit zeigt sich auch in den Standardabweichungen, die sich für jedes Vergleichspaar ergeben. Dabei tritt ein besonderer Effekt zu Tage: Es zeigt sich, dass es den Bewertenden offensichtlich einfacher gefallen ist, sich gemeinschaftlich dafür zu entscheiden, dass Bilder gleich sind, als zu entscheiden, ob und wie stark sich Bilder voneinander unterscheiden. Der Zusammenhang zwischen der Verteilung der Bewertungen und der dazugehörigen Standardabweichungen ist in Abbildung 7.31 verdeutlicht. Es zeigt sich eine Tendenz, dass je höher die Bewertung, desto kleiner sind die Standardabweichungen – also die Streuung der Bewertungen innerhalb der 59 Juroren und Jurorinnen.



**Abbildung 7.31:** Zusammenhang zwischen Ähnlichkeitsbewertung und Standardabweichung innerhalb der Bewertungen

### 7.3.5.3 Weitere Beobachtungen

Man könnte davon ausgehen, dass es blinden Teilnehmenden, die über ein gewisses Maß an visueller Vorerfahrung verfügen, leichter fallen würde, die gestellten grafischen Aufgaben zu bewältigen. Beobachtungen während der Testverläufe können diese Annahme jedoch nur bedingt bestätigen. Klar zeigte sich, dass geburts- und früherblindete Menschen deutlich mehr Probleme im Umgang mit dem *Digitalisierungsstift* (Stylus) hatten als späterblindete Testpersonen. Jedoch gab es einige geburtsblinde Personen, die den Umgang mit dieser Eingabemethode sehr schnell erlernten und darüber hinaus auch ein Verständnis für einen effektiven Umgang entwickelten. Beispielsweise erkannten sie, dass Formen, die sehr schnell gezeichnet wurden, deutlich schöner in ihrer Gestalt waren und mehr den Erwartungen entsprachen als langsam gezeichnete Formen. Die Konzepte von Verdeckung, Maskierung und Kombination beziehungsweise Subtraktion von Formen waren trotz eingehender Schulung dieser Phänomene nur schwer intuitiv für geburtsblinde Teilnehmende anzuwenden. Diese stellten deutlich häufiger Rückfragen zu Strategien in diesem Bereich als andere Teilnehmende. Auch das Einschätzen der Auswirkungen von Manipulationen auf die taktile Gestalt einer Form fiel vielen geburtsblinden Personen zu Beginn sehr schwer. Sie zeigten sich oft überrascht darüber, was das Verändern einer einzigen Eigenschaft oder eines Punktes für Auswirkungen haben kann, und konnten diese auch nicht einschätzen oder gar vorausplanen. Erst im Laufe der Tests entwickelten sie ein Gefühl für die Ergebnisse von Manipulationen. Es zeigt sich somit, dass dieses (Formen-)Wissen offenbar nicht angeboren ist, jedoch auch in kurzer Zeit mithilfe des Zeichenarbeitsplatzes erlernt und angewendet werden kann.

geburts- und  
früherblindete  
Teilnehmende

Wie auch bereits bei anderen Zeichenprogrammen für blinde und sehbehinderte Menschen konnte beobachtet werden, dass Nutzende ein stark lokales Bearbeitungsverhalten zeigten [MBS08]. Das bedeutet, sie tendieren dazu, erst ein Objekt sehr detailliert und feingranular zu bearbeiten, auch wenn dieses erst in Kombination mit einer anderen Form zur gewünschten Gestalt wird, bevor sie zum nächsten Objekt gehen oder ein neues Objekt erstellen. Ein häufiger Wechsel zwischen Formen wurde weitestgehend vermieden.

Manipulation

Allgemein hatten einige der Testpersonen große Schwierigkeiten, Zeichenhandlungen zu planen. Häufig konnte man beobachten, dass Teilnehmende Strategien anwendeten, die bei einem vorherigen Problem zum Erfolg geführt hatten, auch wenn diese auf das aktuelle Problem nicht oder nur bedingt anwendbar sind. Ein häufig auftretendes Beispiel eines solchen Verhaltens zeigte sich bei der Umwandlung eines Rechtecks in ein Trapez. Dabei verschoben Testpersonen eine der oberen Eckpunkte in eine Richtung, um sich der Trapezform anzunähern. Danach wechselten sie zum anderen oberen Eckpunkt und verschoben diesen schnell in genau dieselbe Richtung wie den Ersten. Sie erzeugten somit eine Art Parallelogramm anstatt eines Trapezes. Erst nachdem sie die sich ergebende taktile Gestalt erkunden, um ihren Erfolg zu kontrollieren, bemerken sie, dass sie ihre Strategie hätten adaptieren müssen. Dieses Verhalten ließ sich auch beim Verschieben und bei Größenänderungen beobachten.

Planung und  
Ausführung von  
Zeichen- und  
Manipulations-  
handlungen

Die Möglichkeit des direkten taktilen Feedbacks zur unmittelbaren Erfolgskontrolle wurde in manchen Fällen von Teilnehmenden nicht oder erst spät genutzt, wenn sie sich ihrer Vorgehensweise sicher waren und effizient die Aufgabe bearbeiten wollten. Die taktile Ausgabe über die Veränderung der Gestalt zeigt sich hier dennoch als absolut essentielles Hilfsmittel. Ohne eine solche Kontrolle wären keine Ergebnisse dieser Güte möglich gewesen. Viele Testpersonen nutzten diese Möglichkeiten der direkten Kontrolle aus und probierten mehrere (mehr oder weniger zielführende) Möglichkeiten und Strategien zur Grafikbearbeitung und Navigation aus, um eine effiziente Strategie für zukünftige Aufgaben zu finden. Alle Teilnehmenden setzten gerade bei Zooming- und Panning-Operationen auf eine beidhändige (bimanuale) Interaktionsstrategie, bei der sie mit einer Hand auf der taktilen Ausgabefläche verweilten.

taktile  
(Erfolgs-)Kontrolle

nicht wahrgenommene Änderungen	Bei der Kontrolle von symmetrischen Veränderungen – also Veränderungen, die sich auf beide Seiten einer Gestalt auswirken, wie das symmetrische Verkleinern beziehungsweise Vergrößern um den Mittelpunkt – nahmen einige Teilnehmende die Veränderungen nur einseitig wahr. Sie kontrollierten nur eine sich verändernde Seite der Form und bemerkten nicht, dass sich die gegenüberliegende Seite in gleichem Maße verändert.
mentale Anstrengung	Das Vorausplanen von Handlungen bewerteten viele der Teilnehmenden als herausfordernd und mental anstrengend. Ein Beispiel für ein solches Handeln stellt die Ausführung einer gerichteten Geste dar. Teilnehmende konnten sich durch Rotation oder Größenvariation von ausgeführten Gesten der angedachten finalen Form annähern. Die Planung zur Ausführung dieser Gesten stellte viele Teilnehmende jedoch vor große Probleme, weshalb sie Gesten falsch ausführten oder die Ergebnisform beziehungsweise ihre Platzierung nicht den Erwartungen entsprach. Gleiches gilt für das Zeichnen mit dem Stift. Einige Teilnehmende waren mit der Planung zum Zeichnen eines Dreiecks überfordert. Sie konnten sich nicht entscheiden, wo sie am besten anfangen sollten und wie sie dann die Form weiterzeichnen sollten. In solchen Fällen wurde durch die Testleitenden eingegriffen und mehrere Möglichkeiten aufgezeigt, an denen sich die Testpersonen orientieren konnten.
Ermüdung vs. Ambitionen	Erstaunlicherweise konnten keine offensichtlichen Ermüdungseffekte während der sehr langen Testsitzungen festgestellt werden. Auch berichtete keiner der Teilnehmenden über Ermüdung. Vielmehr konnte beobachtet werden, dass Testpersonen ihre Ambitionen an die Qualität des Ergebnisses von Zeichnung zu Zeichnung höher setzten und im Verlauf des Tests mehr Detailänderungen anstrebten, um sich einem Ideal anzunähern.

## 7.4 Bewertung des Zeichenprogramms

Bewertungskriterien	Das im Rahmen dieser Arbeit entstandene kollaborative multimodale Zeichensystem für blinde Menschen sollte sich an den in Abschnitt 4.3.1 erarbeiteten Anforderungen und Empfehlungen orientieren. Die nachfolgende Bewertung des Zeichensystems wurde durch eine externe sehende Person vorgenommen. Dieser Person wurden die Kriterien der Anforderungsanalyse vorgelegt. Zu jedem Kriterium wurden, in Form eines Interviews mit dem Entwickler, alle Funktionen, Eigenschaften, aber auch Probleme und Einschränkungen möglichst neutral und objektiv erläutert und praktisch vorgeführt. Die Person bewertete dann eigenständig, ob das Zeichensystem das Kriterium vollständig, nur teilweise oder gar nicht erfüllt.
Bewertung durch zweite Person	

Tabelle 7.3 fasst die Bewertung zusammen. Die erklärenden Kommentare wurden nachträglich als Begründung hinzugefügt und entstammen maßgeblich dem Protokoll zum Interview. Bei der angegebenen Nutzergewichtung handelt es sich um die Bewertung der Kriterien durch sechs blinde Personen aus Abschnitt 4.3.3.










**Tabelle 7.3:** Abschließende Bewertung des multimodalen kollaborativen Zeichensystems mit Hilfe der 35 Anforderungen an Zeichensysteme für blinde Menschen aus Abschnitt 4.3

ID der Anforderung	Nutzer- gewichtung	Bewertung	Kommentare (Belegstellen)
<b>Allgemein</b>			
1a (Selbständigkeit)	4,7	●	Jedoch Screenreader zur GUI-Bedienung nötig (insbesondere für <b>Öffnen und Speichern</b> )
1b (Kollaboration)	4,5	●	Siehe Kapitel 6 – <i>Kollaborative Erstellung taktiler Grafiken</i>
1c (intuitiv)	3,8	●	Siehe Abbildung 6.31 auf Seite 171 zur Bewertung der Bearbeitungsmodi sowie SUS-Bewertungen aus Abschnitt 7.3.5.1; Tastenkommandos möglichst an Anfangsbuchstabe des Funktionsnamens koppeln (siehe Abschnitt 6.1.2.2)
1d (multimodal)	3,8	●	Verschiedene Eingabemodalitäten (siehe 6.1.2.2) sowie Zeichenmethoden (7.2)
1e (unmittelbares Feedback)	4,5	●	Für taktile Ausgabe hardwareabhängig (siehe Abschnitt 6.1.2.1 – <i>Nicht-visuelle Ausgabe</i> )
1f (individualisierbar)	3,7	●	Ansicht (Schwellwert, Zoom, Bereiche, ...), Tastenkommandos, Systemsprache, Lautstärke, Sprechgeschwindigkeit, Stimme
1g (kompatibel mit ATs)	4,7	●	Screenreader für selbständige Bedienung notwendig, jedoch <i>Self-voicing</i> (wird evtl. von Nutzenden abgelehnt). Zudem kann es Probleme mit AT beim Versetzen des GUI-Fokus bei Zeichenoperationen geben (z. B. <b>Löschen</b> ).
1h (Hilfe)	4,5	●	Schulungsmaterial auf Deutsch, Hilfetexte in Text-Menüs (siehe Abschnitt 6.1.2.2)
<b>Interaktion und Eingabe</b>			
2a (Zeichenunterstützung)	4,5	●	<i>Pfadoptimierung</i> (siehe Abschnitt 7.2.3), Werte im <i>Detaillbereich</i> ablesbar, Veränderungsschrittweite abhängig vom Zoom (siehe Abschnitt 6.1.2.3 – <i>Manipulation von Grafiken</i> )
2b (Standardformen)	4,2	●	Formenpalette im Menü (Abschnitt 7.2.1), Formengröße an verfügbaren Platz gekoppelt
2c (Orientierungshilfen)	3,8	●	<i>Raster</i> (siehe 7.2.5.1), <i>Scrollbar</i> und <i>Minimap</i> sowie <i>Zooming</i> und <i>Panning</i> (siehe Abschnitt 6.1.2.1 – <i>Nicht-visuelle Ausgabe</i> )
2d (Tastatursteuerung)	4,5	●	Tastatursteuerung nur über <i>Debug-Monitor</i> möglich (Abschnitt 6.1.3); im kollaborativen Szenario nicht vorgesehen und nicht nötig (evtl. vorhandene Hardware-Tasten eines taktilen Displays nutzen)
2e (schrittweises Editieren)	4,0	●	Veränderungsschrittweite abhängig vom Zoom – min. 1 Taxel (Abschnitt 6.1.2.3)
2f (Schutz krit. Funktionen)	3,7	●	Schutz über <b>Undo/Redo</b> -Historie (siehe Abschnitt 6.1.2.3)
2g (Beidhändigkeit)	4,5	●	Abhängig von angeschlossener Hardware, aber grundsätzlich vorgesehen (z. B. Corsurkreuz-Konzept in Abschnitt 6.1.2.3)

**Tabelle 7.3:** Abschließende Bewertung des multimodalen kollaborativen Zeichensystems mit Hilfe der 35 Anforderungen an Zeichensysteme für blinde Menschen aus Abschnitt 4.3

ID der Anforderung	Nutzer-gewichtung	Bewertung	Kommentare (Belegstellen)
<b>Funktionen und Eigenschaften</b>			
3a (Freihandzeichnen)	4,2	●	Stift (siehe Abschnitt 7.2.3 – Freihandzeichnen), freie Linienzüge mittels Gesten (siehe Abbildung 7.5 zur Erzeugung einer Freiform mittels Menü auf Seite 186); angeschlossene Hardware muss über eine Touchsensorik verfügen
3b (Objekte editieren)	4,8	●	Position, Größe, Rotation, Linie, Füllung (siehe Abschnitt 6.1.2.3)
3c (Detailänderungen)	3,3	●	Feingranulare Veränderungsschrittweite bei hohem Zoomfaktor (siehe Abschnitt 6.1.2.3)
3d (Objekte löschen)	5,0	●	siehe Abschnitt 6.1.2.3
3e (Linien verbinden)	3,8	○	Nur einzelne Linienzüge zeichnen (siehe Abschnitt 7.2.1) oder durch Verschieben von Einzellinien den Eindruck erwecken; Freiformen können automatisch geschlossen werden (siehe Abschnitt 7.2.3); Ausnahme: Text-Label (siehe Abschnitt 7.2.5.2) können automatisch gebunden werden
3f (Beschriftungen)	4,0	●	Text-Label (siehe Abschnitt 7.2.5.2), Annotationen (siehe Abschnitt 6.1.2.3)
3g (Fehlerkorrekturen)	4,3	●	Undo/Redo über Veränderungshistorie (siehe Abschnitt 6.1.2.3)
3h (Kopieren/Einfügen)	4,2	◐	Nur über die GUI-Funktionen möglich (Screenreader oder Kommando)
3i (Zoom)	4,3	●	Zooming und Panning (siehe Abschnitt 6.1.2.1)
3j (Schnellspeichern)	5,0	●	Automatisches Speichern einstellbar (wurde in Evaluation aus Abschnitt 7.3 genutzt), Standardsicherung von DRAW, Strg+S über GUI
3k (Export taktiles Bild)	4,8	●	Digitale Master-Datei und Anbindung an (taktile) Drucker über DRAW
3l (Export visuelles Bild)	5,0	●	Vielzahl an digitalen Bildformaten und Anbindung an Drucker über DRAW
<b>Präsentation und Ausgabe</b>			
4a (multimedial)	3,3	●	Visuell (DRAW GUI und Debug-Monitor), grafisch taktil, Braille-Text im Detailbereich, auditiv (Töne und Sprache) – siehe Abschnitt 6.1.2 – Nicht-visuelle Benutzungsschnittstelle
4b (taktile Ausgabe)	5,0	●	Abhängig von angeschlossener Hardware
4c (GUI)	3,0	●	Debug-Monitor und DRAW-Anwendung selbst (siehe Abschnitt 6.1.3 – Unterstützung der Kollaboration zwischen sehenden und sehbehinderten Benutzern)
4d (Objektstatus erkennbar)	3,5	●	Blinkender Rahmen um fokussiertes Element (siehe Abschnitt 6.1.2), Eigenschaften im Detailbereich (Abschnitt 6.1.2.3), taktile Darstellung selbst (Abschnitt 6.1.2.1); jedoch kein Zugang zu rein visuellen Eigenschaften (z. B. Farbe)

**Tabelle 7.3:** Abschließende Bewertung des multimodalen kollaborativen Zeichensystems mit Hilfe der 35 Anforderungen an Zeichensysteme für blinde Menschen aus Abschnitt 4.3

ID der Anforderung	Nutzer- gewichtung	Bewertung	Kommentare (Belegstellen)
4e (Präsentation anpassbar)	4,2		Zoom und Minimap, Anpassung des Schwellwertes, Invertieren, Braille-Text-Überlagerung (ein/aus), Sprung zum Fokus, deterministisches Durchlaufen aller Elemente (siehe Abschnitt 6.1.2); jedoch keine Suche und Filterung nach Farbe / Typ etc.
4f (keine Rasterung)	3,0		Arbeitsplatz ist vektorbasiert, finale Ausgabe ist abhängig vom Zielmedium (bei Druck auf Schwellpapier ist beispielsweise eine sehr hohe Auflösung möglich); während des Zeichnens jedoch nur 10 dpi Rasterung (siehe Abschnitt 6.2.1.4 – Rendering von Informationen)
4g (intuitive Tactons)	4,0		Text-Menüs und Dialogelemente an Screenreader angelehnt (siehe Abschnitt 6.2.1.4), ansonsten größtenteils Verzicht auf Tactons
4h (Funktionen gruppieren)	4,3		Funktionen in Untermenüs und Gruppen zusammengefasst (siehe Abschnitte 6.1.2.2 und 7.2.1)
<b>Summe:</b> 30x  (ja), 4x  (teilweise), 1x  (Nein)			

## 7.5 Fazit und Diskussion

In der mit zwölf Testpersonen durchgeführten Evaluation konnte gezeigt werden, dass es mit dem multimodalen Zeichensystem – gerade auch durch das unmittelbare taktile Feedback – für blinde Menschen möglich ist, mittels aller vier angebotenen Zeichenmodalitäten akkurate Zeichnungen anzufertigen. Dabei hatte die angewendete Eingabemodalität zwar deutlichen Einfluss auf die Qualitätsbewertung der Zeichnung durch sehende Menschen, jedoch keinen Einfluss auf die Zufriedenstellung der zeichnenden Person selbst mit ihren Ergebnissen. Durchweg waren alle blinden Zeichner und Zeichnerinnen mit ihren Zeichnungen sehr zufrieden und über ihre eigenen Leistungen positiv überrascht. Die guten bis teils sehr guten Bewertungen der entstandenen Grafiken durch externe sehende Juroren unterstreichen den subjektiv guten Eindruck der blinden Teilnehmenden.

Zusammenfassung

Die Evaluation hat zudem gezeigt, dass die nutzende Person und deren persönliche Präferenzen und Fähigkeiten einen großen Einfluss auf den Umgang und die Qualität der erzeugten Ergebnisse haben. Das Szenario und der Aufbau der Evaluation, die auch darauf ausgelegt waren, die Anzahl veränderlicher Variablen zu kontrollieren und zu minimieren, ließen den beiden Methoden zur Freiformerzeugung (*Freihandzeichnen mittels Stylus* und *Objektsilhouetten mittels Tiefenkamera*) nur wenig Raum, ihre Potentiale auszuspüren. Gerade bei Aufgaben mit komplexen Formen sind diese freien Modalitäten den eher klassischen und stärker limitierten Methoden (*Menü* und *Gesten*) deutlich überlegen.

Aussagekraft der Ergebnisse

Keine der angebotenen vier Zeichenmodalitäten wurde durchweg von allen Testpersonen präferiert. Dennoch wurden das robuste, fehlertolerante und in der Bedienung wohlbekannte *Menü*-Konzept sehr oft als eines der favorisierten Konzepte genannt, auch wenn es in seinen derzeitigen Möglichkeiten sehr beschränkt ist. Allgemeiner Konsens unter den Teilnehmenden war jedoch, dass sie im Realeinsatz alle Modalitäten kombinieren würden und für jede

Einsatz der Zeichenmodalitäten

Aufgabe das effektivste und für sie angenehmste Verfahren anwenden würden. Allerdings würden nur wenige Nutzende den zusätzlichen technischen Aufwand sowie die Suche nach einem passenden Realobjekt für den Einsatz der *Objektsilhouetten* auf sich nehmen.

Auf die aus der Forschungsfrage 2 hervorgegangen Hypothesen 4 bis 8 ergeben sich nach der Evaluation folgende Schlussfolgerungen:

#### Hypothese 4

Mittels **Text-Menü** können blinde Menschen effizient und robust taktile Grafiken aus vorgegebenen Formen selbst erstellen.

Die Hypothese kann bestätigt werden. Das Erstellen von Formen über eine als (Braille-)Text-Menü angebotene Formenpalette wurde von blinden Personen als robust und verlässlich beschrieben und zählt zu den bevorzugten Interaktionsmechanismen. Im Durchschnitt konnten Testpersonen mit dieser Methode am zweitschnellsten ihre Aufgabe mit einem Höchstmaß an Qualität erfüllen.

#### Hypothese 5

Mittels **Gesten** können blinde Menschen einen effizienten und örtlichen Zugang zum Zeichnen vorgegebener Formen erhalten.

Die Hypothese kann unter der Annahme bestätigt werden, dass der eingesetzte Gestenerkennung robust und verlässlich funktioniert und die zeichnende Person Übung im Umgang mit den Zeichengesten hat.

Blinde Testpersonen unterstrichen die Vorteile des direkteren und ortsgebundenen Erstellens von Formen durch die Eingabe von entsprechend ausgerichteten Zeichengesten. Der Umgang und die Ausführung von gedrehten und in ihrer Größe variierenden Gesten stellte viele blinde Personen jedoch vor große Probleme. Die mentale Anstrengung sowie technische Probleme im Gestenerkennung, der nicht auf die jeweilige Testperson trainiert war, machten den Umgang für Nutzende unkomfortabel.

Im Vergleich zur Erstellung über *Text-Menüs* benötigten die Testpersonen im Durchschnitt deutlich weniger Manipulations- und Steuerungsinteraktionen zum Erreichen ihrer Ziele.

#### Hypothese 6

Mittels **Stifteingabe** mit unmittelbarer taktiler Rückmeldung können blinde Menschen Freihandzeichnungen erstellen.

Die Hypothese kann bestätigt werden. Alle zwölf blinden Personen konnten Freihandzeichnungen mit Hilfe des Digitalisierungsstiftes (Stylus) anfertigen. Alle Zeichnenden waren darüber hinaus mit dem Zeichenergebnis sehr zufrieden. Die Handhabung eines Stiftes selbst verlangt jedoch Übung. Geburts- oder früherblindete Personen sind hier initial benachteiligt gegenüber späterblindeten Personen, die in der Schule handschriftliches Schreiben gelernt haben.

**Hypothese 7**

*Komplexe **zweidimensionale Umrisse** von realen Objekten können mittels kamerabasierter Technik schnell und einfach durch blinde Menschen in Grafiken eingefügt werden.*

Die Hypothese kann bestätigt werden. Das Abscannen von Realobjekten mittels 3D-Tiefenkamera zeigte sich in der durchgeführten Evaluation im Durchschnitt als die effizienteste Methode zum Nachzeichnen. Dem gegenüber steht jedoch, dass die erstellten Zeichnungen, beziehungsweise Grundformen, nicht den Erwartungen der Nutzenden entsprechen. Darüber hinaus scheuen die Testpersonen den technischen Aufbau und Aufwand, der sich aus dieser Methode ergibt.

**Hypothese 8**

*Taktile Grafiken, die blinde Menschen mit Hilfe des taktilen Zeichenarbeitsplatzes erstellen, sind für blinde und sehende Menschen **lesbar und können von guter Qualität sein**.*

Die Aussage kann bestätigt werden. Alle blinden Testteilnehmenden konnten die Testgrafiken sowie ihre eigenen Zeichnungen lesen und verstehen. Darüber hinaus wurde das Zeichenergebnis durch die Zeichnenden selbst durchweg als positiv bewertet. Auch eine externe unabhängige Bewertung durch sehende Juroren und Jurorinnen zeigte, dass Bilder, die mittels des taktilen Zeichenarbeitsplatzes durch blinde Personen erstellt wurden, in ihrer Güte und Ähnlichkeit zum Original gut bis sehr gut bewertet werden. Die Qualität der Zeichnungen ist dabei hauptsächlich von der benutzten Zeichenmodalität abhängig.



# Fazit

---

Die in dieser Arbeit zusammengetragenen Informationen und Ergebnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst und diskutiert. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf mögliche und notwendige Erweiterungen des vorgestellten Systems gegeben.

## 8.1 Zusammenfassung

Der Umgang mit Bildern und Grafiken ist in der heutigen Gesellschaft weit verbreitet. Blinde und sehbehinderte Menschen schließt dieses visuelle Medium oft aus. Ein Zugang zu solchen Informationen erfolgt meist durch eine textuelle Alternative, die nur zu oft unzureichend ist – wenn überhaupt eine Beschreibung möglich ist. Fühlbare Alternativen, wie taktile Grafiken, werden nur selten eingesetzt. Dies liegt unter anderem an der aufwendigen Erstellung, welche sowohl die Gestaltung als auch die Produktion auf verschiedensten Ausgabemedien beinhaltet. Darüber hinaus berichten blinde und sehbehinderte Menschen immer wieder von Qualitätsproblemen mit den ihnen bereitgestellten taktil-grafischen Alternativen. Dies führt auch dazu, dass Betroffene den Umgang mit solchen taktilen Darstellungen vermeiden, da sie oft nur wenig Mehrwert bieten.

Zugang zu  
grafischen  
Informationen

Demgegenüber steht jedoch, dass Grafiken den Informationsaustausch und Wissenserwerb unterstützen können. Zudem müssen auch blinde und sehbehinderte Menschen im Zuge ihrer (schulischen) Ausbildung oder ihres Berufslebens grafische Aufgaben erfüllen. Zur Gestaltung von taktilen Grafiken stehen ihnen eine Vielzahl an einfachen manuellen Methoden sowie einige rechnerunterstützte Werkzeuge zur Verfügung. Während die manuellen Methoden oft schwierig zu handhaben sind und nur wenig Zeichenunterstützung und Möglichkeiten der Fehlerkorrektur bieten, sind rechnergestützte Methoden meist technisch aufwendig, in ihren Möglichkeiten ebenfalls stark beschränkt und lassen oft einen adäquaten taktilen Zugang zur Grafik vermissen. Dennoch können auch aus den Unzulänglichkeiten rechnerunterstützter Werkzeuge Anforderungen für ein gutes digitales Zeichensystem für blinde Menschen abgeleitet werden.

Zugang zum  
Zeichnen



- Forschungsschwerpunkte der Arbeit Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Schwerpunkte adressiert: Zum einen die Verbesserung der Qualität von taktilen Grafiken durch Mechanismen der Qualitätssicherung (**Forschungsfrage 1**) und zum anderen der barrierefreie Zugang zum Grafikerstellungsprozess für eine blinde Person mit angemessenen Interaktionstechniken (**Forschungsfrage 2**).
- Kriterienkatalog Im Rahmen der professionellen Transkription von Grafiken in eine textuelle oder taktile Alternative wird im Sinne der Qualitätssicherung auf Erfahrungswerte zur Vermeidung von Problemen in den Umsetzungen zurückgegriffen. Dies kann durch fachkundige Personen oder die Anwendung von gesammelten Erfahrungswerten, beispielsweise in Form eines Kriterienkataloges, erfolgen. Derartige Zusammenstellungen von Hilfen sollen insbesondere Einsteiger beim Vermeiden klassischer und immer wieder auftretender Fehler unterstützen. Eine solche einführende Anleitung von Laien scheint sinnvoll, da viele taktile Grafiken durch unerfahrene Personen im Rahmen der familiären oder freundschaftlichen Unterstützung sowie durch ungelernte Hilfskräfte umgesetzt werden. Dennoch zeigen Umfragen unter sehbehinderten Menschen, dass die Qualität von taktilen Materialien immer noch zu oft unzureichend ist.
- Evaluation zur QS mittels Kriterienkatalog Auch in einer durchgeführten Evaluation mit zehn sehenden Laien konnte nachgewiesen werden, dass trotz der Bereitstellung eines Kriterienkataloges mit Hinweisen zur Erstellung guter taktiler Grafiken, unerfahrene Personen immer noch eine Vielzahl an Fehlern und Qualitätsproblemen in ihre taktilen Übersetzungen einbringen. Im Umkehrschluss wurde mit 19 sehenden Personen untersucht, inwieweit sich ein solcher Kriterienkatalog im Rahmen der Qualitätssicherung zum Identifizieren von Problemstellen in taktilen Grafiken eignet. Zur einfacheren Handhabung wurde ein geführter Online-Dialog für den Kriterienkatalog entwickelt. Auch hier blieben viele Probleme und Unzulänglichkeiten in den Grafikumsetzungen unentdeckt. Die Anwendung von Kriterienkatalogen alleine kann somit nicht alle Qualitätsprobleme in taktilen Grafiken überwinden (**Hypothese 1**). Dies liegt unter anderem an der fehlenden Erfahrung der Anwendenden zur Einschätzung von taktilen Eigenschaften und subjektiv oder unklar zu bewertenden Kriterien sowie an der Missachtung von Kriterien aus Unverstand oder Bequemlichkeit. Viel zu häufig wird durch Anwendende der trügende visuelle Eindruck dem realen taktilen Eindruck vorgezogen.
- Peer-Review Zur Qualitätssicherung könnte die Einbeziehung blinder Menschen in den Erstellungsprozess einer taktilen Grafik Abhilfe schaffen. Was bei der Kontrolle von Braille-Übersetzungen im Rahmen eines *Peer-Reviews* gängige Praxis ist, soll auch für die Grafiktranskription ermöglicht werden: Zur Vermeidung von Verständnis- oder Darstellungsproblemen erarbeiten eine sehende und eine blinde Person kollaborativ eine taktile Grafik (**Hypothese 2**). Dazu können beispielsweise dynamisch taktile Flächendisplays eingesetzt werden, um blinden Menschen einen unmittelbaren Zugang zu sich verändernden grafischen Inhalten zu ermöglichen.
- Programme zum Erstellen taktiler Grafiken Zur Erstellung taktiler Grafikvorlagen können klassische wie auch auf taktile Ausgaben spezialisierte Zeichenprogramme genutzt werden. Viele dieser speziellen Zeichenprogramme bieten ihren Nutzenden weitreichende Unterstützung, beispielsweise durch Übersetzungen von Texten in Braille, spezielle taktile Grafikelemente oder die Anwendung von Filtern und Ähnlichem. Darüber hinaus bieten einige Programme Möglichkeiten zur weiterführenden Annotation von Grafiken, die dann mit speziellen Bildbetrachtungssystemen beispielsweise als audio-taktile Grafiken erkundet werden können. Auch der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Zeichenarbeitsplatz soll sehende Nutzende mit solchen Hilfen zur guten taktilen Gestalt und zur audio-taktilen Annotation unterstützen.
- Tangram Zeichenarbeitsplatz Als Basis für den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz (alias *Tangram*-Zeichenarbeitsplatz) dient das Vektor-Zeichenprogramm *LibreOffice Draw*, welches um eine zusätzliche Werkzeugleiste und kleine Formular-Dialoge sowie um einen nicht-visuellen Zugang zur Grafik und den Zeichenfunktionen für eine blinde Person erweitert wurde. Der taktil-grafische Zugang zur Zeichnung erfolgt dabei mittels großflächigen taktilen Displays (alias Stiftplatten). Diese können

in verschiedenen Displaygrößen und mit unterschiedlicher Anzahl an Steuerelementen bestückt sein. Eine Umsetzung für verschiedenartige und austauschbare Hardware ist somit notwendig. Dargestellte Informationen werden über verschiedene Programmier- und Zugänglichkeitsschnittstellen gesammelt. Über diese können nicht nur Informationen bezogen, sondern auch Operationen zur Anwendungssteuerung übertragen werden. Dies beinhaltet unter anderem das Manipulieren von Grafikobjekten. So kann aus einer rein beobachtenden und beratenden blinden Person ein aktiv und kollaborativ teilnehmender Lektor werden, der selbständig Änderungen an Zeichnungen vornehmen kann. Informationen werden dabei als binär-taktile Grafik, in Form von Braille-Text oder in auditiver Form mittels Sprachausgabe oder Tönen präsentiert.

Im Rahmen einer Evaluation mit acht Paarungen aus blinder und sehender Person wurde der kollaborative Peer-Reviewing Ansatz mittels des entwickelten Zeichenarbeitsplatzes untersucht. Dabei wurden sowohl Laien als auch Personen mit Expertise in der taktilen Grafikerstellung einbezogen. Die entstandenen zwei Varianten der Grafik (eine vor und eine nach der kollaborativen Überarbeitung) wurden als taktile Ausdrucke produziert und blinden beziehungsweise sehbehinderten Menschen vorgelegt. Diese konnten die taktilen Grafiken lesen und verstehen (**Hypothese 3**) und anschließend bewerten. Dabei stellte sich heraus, dass vor allem sehende Laien von der Expertise eines erfahrenen blinden Gegenübers profitieren und die Qualität der Grafikumsetzung steigern konnten (**Hypothese 2**). Jedoch konnten sehende Experten nicht so sehr von unerfahrenen blinden Lektorierenden profitieren. Gerade die Einschätzung, wie sich die taktile Gestalt von Elementen einer Grafik auf dem final produzierten taktilen Medium darstellt, war für viele blinde Teilnehmende nur sehr schwer einzuschätzen und bedarf deutlich mehr Erfahrungswerten.

Evaluation  
kollaborative  
Grafik-  
überarbeitung

Der kollaborative Zeichenarbeitsplatz soll aber nicht nur Zugang zu einer durch eine andere Person erstellten Grafik ermöglichen, sondern soll darüber hinaus auch blinde Personen befähigen, selbständig Zeichnungen anzufertigen und zu bearbeiten. Dazu werden vier verschiedene Methoden zur Erzeugung von grafischen Elementen sowie nachträgliche Bearbeitungsmöglichkeiten angeboten. Die Zeichenmodalitäten greifen dabei teils auf manuelle Zeichentechniken für blinde Menschen zurück und imitieren diese. Die vier angebotenen Modalitäten wurden in einer vergleichenden Evaluation untersucht (**Forschungsfrage 2**). Die damit erzeugten Bilder wurden abschließend durch externe sehende Personen zum Teil als sehr gut bewertet (**Hypothese 8**).

selbständiges  
Zeichnen

Als eine der Erstellungsmethoden steht die Auswahl von vordefinierten Formen (Standardformen und grafische Primitive) aus einer Formenpalette, die als Braille-Text-Menü zugänglich ist, zur Verfügung. Das Platzieren von Formen, ähnlich einem analogen taktilen Formenkasten, und deren Auswahl aus einem Menü ist eine sehr robuste und fehlertolerante Interaktionsmethode (**Hypothese 4**), die zu Zeichnungen mit einem Höchstmaß an Qualität führte.

Text-Menü

Zugriff auf eine eingeschränkte Formenpalette kann auch über Zeichengesten erfolgen. Dabei werden an die zu erstellende Form angelehnte Gesten auf der berührungsempfindlichen Zeichenfläche des taktilen Displays ausgeführt. Die Gesten sollen sich in Größe, Ausrichtung und Platzierung der final zu zeichnenden Form annähern. Dies ermöglicht einen direkteren, ortsgebundenen Zugang zum Zeichnen, der im Nachgang weniger manipulierende Operationen erfordert (**Hypothese 5**). Die Hauptkritikpunkte an dieser Zeichenmethodik sind allerdings der Zugriff auf eine stark begrenzte Auswahl an möglichen Formen, die mentale und körperliche Anstrengung bei der Adaption und Ausführung von Zeichengesten mit angepasster Rotation und Ausdehnung sowie technische Probleme mit der Erkennungsrate der eingegebenen Gesten. Dennoch konnten die erstellten Bilder durch den Einsatz idealer Formen in ihrer Qualität überzeugen.

Gesten

- Erzeugung von Freiformen Generell stellt die Konstruktion aus vorgefertigten Formen – wie dies bei den beiden vorangegangenen Methoden der Fall ist – neben einer großen Hilfe auch eine Limitierung dar, welcher durch die Eingabe von Freiformen begegnet werden muss. Zur Erzeugung solcher freien Formen werden zwei weitere Zeichenmodalitäten angeboten.
- Freihandzeichnungen mit Digitalisierungsstift Die wohl gängigste Möglichkeit, Formen jeglicher Art zu zeichnen, ist der Einsatz eines Stiftes zum Erstellen von Freihandzeichnungen. Auch blinden Menschen ist diese Methode beispielsweise durch den Einsatz von Zeichenfolien nicht fremd. Ein drahtloser Digitalisierungsstift kann zum virtuellen Zeichnen auf der taktilen Anzeigefläche eingesetzt werden. Dabei kann mit einer zweiten Hand der gerade gezeichnete Pfad taktil nachvollzogen und weiter vorgeplant werden. Der anschließend erzeugte Freiformenpfad wird in die Zeichnung eingefügt und kann im Nachgang bearbeitet und angepasst werden (**Hypothese 6**). Gerade früh- und insbesondere geburtsblinde Menschen haben deutliche Schwierigkeiten im Führen eines Stiftes, da sie dieses Werkzeug nicht häufig nutzen und im korrekten Umgang damit (beispielsweise beim Schreiben lernen) nicht geübt sind. Dies macht diese Zeichenmethode mental anstrengend, auch wenn viele blinde Teilnehmende der Evaluation die großen Potentiale hinter der Erstellung von Freihandzeichnungen erkannten.
- Objektsilhouetten Als vierte Zeichenmodalität werden die Konturen (Silhouetten) von Realobjekten angeboten. Dabei werden Objekte auf der taktilen Zeichenfläche platziert und mittels über der Zeichenfläche angebrachter Tiefenkamera mit ihrem zweidimensionalen (Schatten-)Umriss in die Zeichnung eingefügt (**Hypothese 7**). So kann annähernd jede mögliche Form in eine Zeichnung eingebracht werden, ohne diese händisch selbst erstellen zu müssen. Auch diese Formen können im Nachgang angepasst und manipuliert werden. In der durchgeführten Evaluation wurden beispielsweise Holzbausteine verwendet. Die mit dieser Methode erstellten Formen entsprachen jedoch durch Anwendung von Glättung bei der Erzeugung der Zeichenformen nicht den Erwartungen der blinden Teilnehmenden. Gerade beim Einsatz von geometrischen Formen (Würfel, Zylinder etc.) wurden ebenso ideale Resultate wie beispielsweise beim Arbeiten mit Menüs und Gesten erwartet. Stattdessen wurden Ecken abgerundet und Objekte leicht verzerrt. Nichtsdestotrotz war diese Zeichenmethode die effizienteste der vier vergleichenden Modalitäten. Dennoch scheuen die meisten blinden Befragten den technischen Aufwand dieser Methode.
- Fazit Mit dem vorgestellten multimodalen Zeichenarbeitsplatz ist es blinden und sehbehinderten Menschen nachweislich möglich, kollaborativ an der Erstellung einer taktilen Grafik durch eine sehende Person teilzuhaben, aktiv mitzuwirken und Grafiken sogar eigenständig mit Hilfe verschiedener Zeichenmodalitäten zu erstellen. Auch dabei können sie durch den kollaborativen Ansatz jederzeit auf die Zusammenarbeit mit einer sehenden Person zurückgreifen. Anschließend können die erstellten Grafiken einfach in einer Vielzahl an digitalen Formaten oder als taktile Ausdrucke verteilt werden.

## 8.2 Diskussion

Der in dieser Arbeit vorgestellte Zeichenarbeitsplatz bietet neben dem taktilen Zugang zu einer Vielzahl an Grafiken auch die Möglichkeit zur Erzeugung von schwarz-weiß Grafiken. Dabei ist die Domäne der Grafiken nicht limitiert. Es wird ein universeller Ansatz zur zugänglichen nicht-visuellen Erstellung von Grafiken angeboten. In dieser absoluten Freiheit liegen jedoch nicht nur Vorteile. Die Ausrichtung auf eine spezielle Domäne, wie sie durch eine Vielzahl der in Abschnitt 4.2 – *Programme zum Bearbeiten von grafischen Inhalten* vorgestellten Systeme praktiziert wird, bietet Nutzenden auch ein deutliches Mehr an (teilweise notwendiger) Unterstützung. Automatismen oder erweiterte Werkzeuge können sicherlich diese Kluft, hin zu

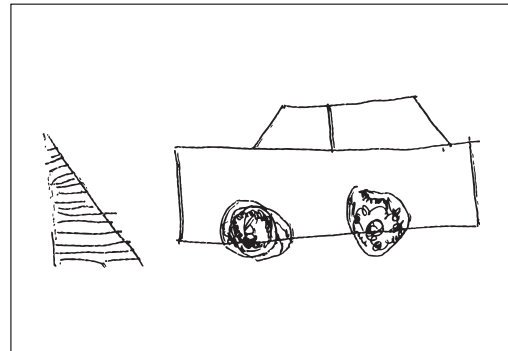
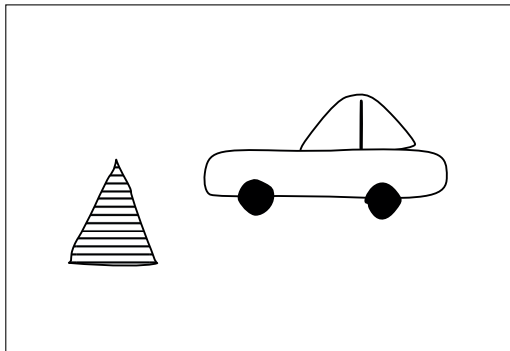
auf Aufgaben spezialisierte Grafiksysteme, schließen. Im derzeitigen Zustand, in dem Nutzende ihre Grafiken aus Standardprimitiven zusammensetzen und diese dann eventuell mit Freihandformen vervollständigen, scheinen nur einfache Zeichnungen in effizienter Art und Weise realisierbar.

Die Manipulation von Grafikelementen funktioniert für blinde Menschen über den Zeichenarbeitsplatz mit taktiler Echtzeitrückmeldung hervorragend – jedoch nur für Elemente oder Eigenschaften, die sich im Wahrnehmungsbereich einer eventuell beobachtenden zweiten Hand befinden, jedoch nicht deutlich weiter darüber hinaus.

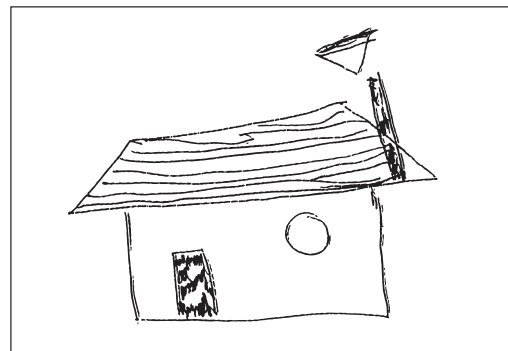
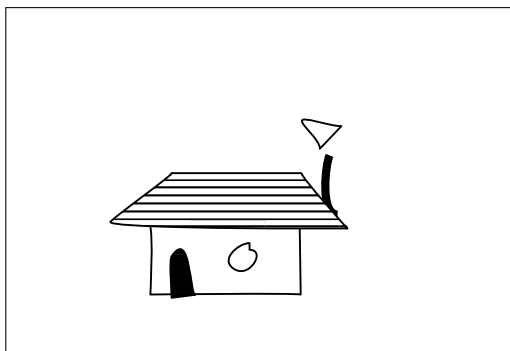
Der hier präsentierte zugängliche Zeichenarbeitsplatz stellt einen generalisierten Zugang zu Zeichnungen her. Diese Generalisierung ist ein Vorteil dahingehend, dass die Einsatzdomäne nicht eingeschränkt ist. Dies stellt aber in gleichem Maße einen Nachteil dar, da für spezielle Arten von Grafiken nur wenig bis gar keine Unterstützung für sich wiederholende Aufgaben oder Probleme, bis hin zur (semi-)automatischen Generierung, bereitgestellt wird.

Das größte Potential des Arbeitsplatzes liegt eindeutig in der Kollaboration mit anderen Nutzenden. Die Bearbeitung einer existierenden Grafik, der direkte Zugang zu einer sich entwickelnden Zeichnung sowie die Möglichkeit für eine blinde oder hochgradig sehbehinderte Person, selbständig eine Skizze anfertigen zu können und diese an sehende oder sehbehinderte Personen weiterzugeben, ist ein nicht zu unterschätzender Wert in einer inklusiven Gesellschaft. Als Einsatzgebiete sind damit überwiegend Problemstellungen in Ausbildung und Beruf durch ein solches Zeichensystem adressiert. Es bleibt die Tatsache, dass blinde gegenüber sehenden Autoren signifikant mehr Zeit benötigen, um eine Grafik zu erzeugen (in [Fuj+18] ca. achtmal länger, in der durchgeführten Evaluation sogar mehr als zehnmal länger).

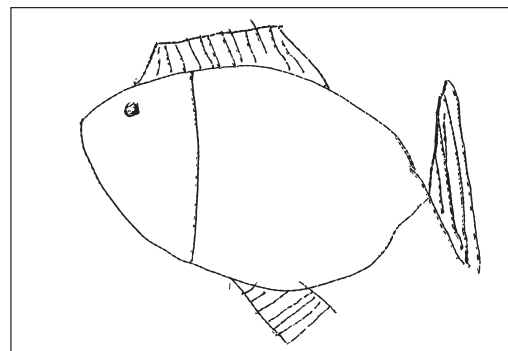
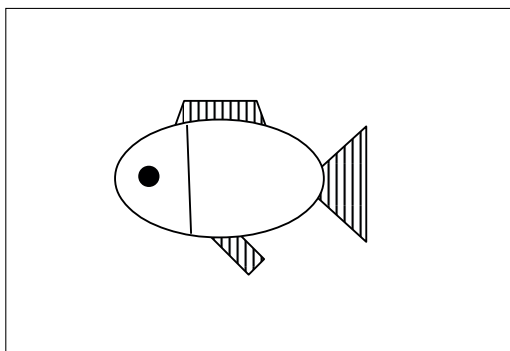
Der direkte Vergleich zwischen verschiedenen Zeichenmöglichkeiten macht das Potential und die Qualität der mit dem vorgestellten Zeichensystem erstellten Bilder deutlich. In den Abbildungen 8.1 und 8.2 sind Zeichnungen blinder Personen gegenübergestellt, die mit dem Zeichenarbeitsplatz sowie etwa ein Jahr später auf einer taktilen Zeichenfolie erstellt wurden. Die Zeichnungen aus Abbildung 8.1 wurden von einem späterblindeten jungen Mann gezeichnet, der handschriftliches Schreiben gelernt und bereits in der Schule viel mit taktiler Zeichenfolie gezeichnet hat. Die Zeichnungen aus Abbildung 8.2 wurden von einer geburtsblinden Frau erstellt, die nur wenig Erfahrung mit taktilem Zeichnen hat – ihre Ergebnisse mit dem zugänglichen Zeichenarbeitsplatz zählen jedoch zu den am besten bewerteten überhaupt.



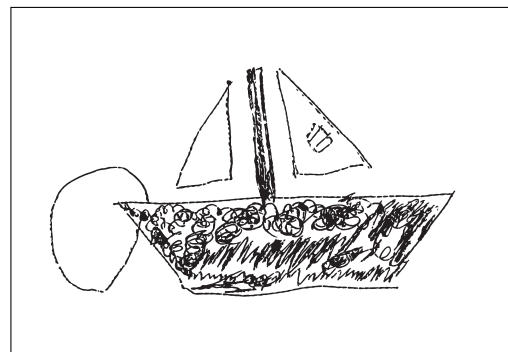
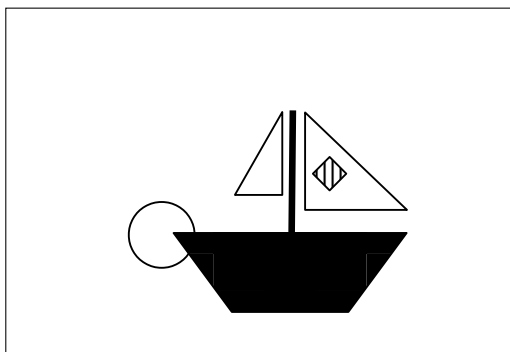
gezeichnet mit Objektsilhouetten –  $\bar{x}$  Rating: 57,1 von 100 (SD = 22,5)



gezeichnet mit Digitalisierungsstift (Stylus) –  $\bar{x}$  Rating: 55,4 von 100 (SD = 23,2)

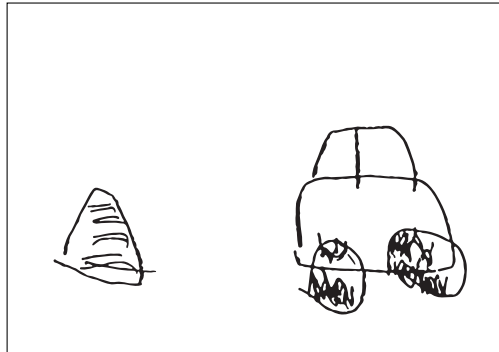
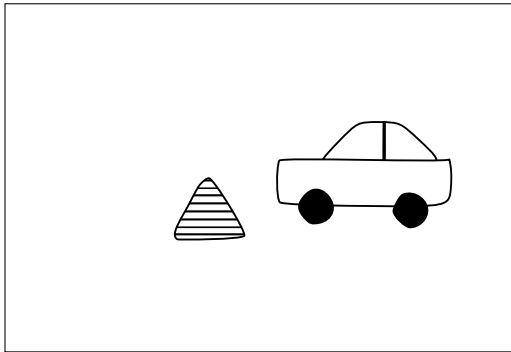


gezeichnet mit Gesten –  $\bar{x}$  Rating: 74,9 von 100 (SD = 17,6)

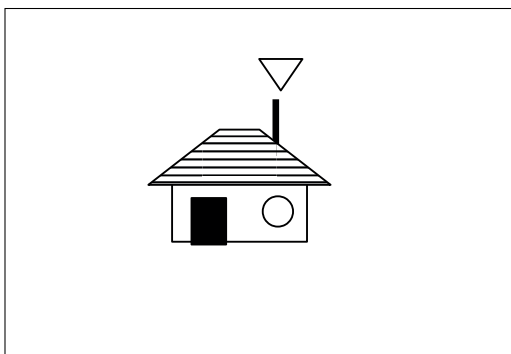


gezeichnet mit Braille-Text-Menü –  $\bar{x}$  Rating: 70,5 von 100 (SD = 21,7)

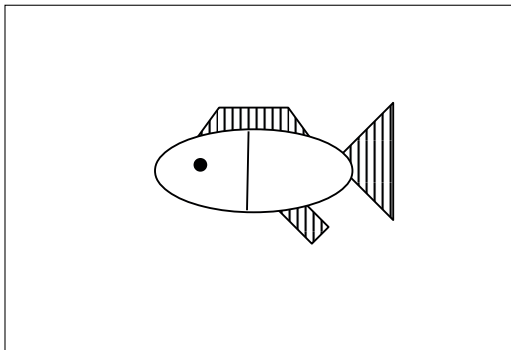
**Abbildung 8.1:** Gegenüberstellung von Zeichnungen mit dem multimodalen kollaborativen Zeichenwerkzeug mit taktiler Rückmeldung (linke Spalte) und Freilandzeichnungen auf taktiler Zeichenfolie (rechte Spalte) eines späterblindeten jungen Mannes



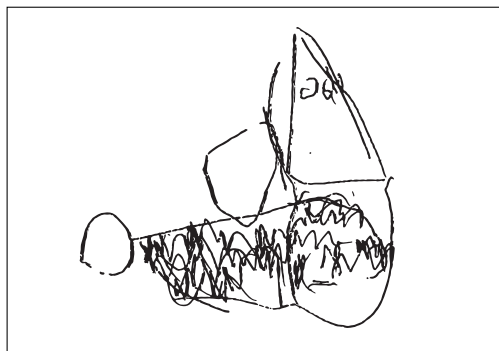
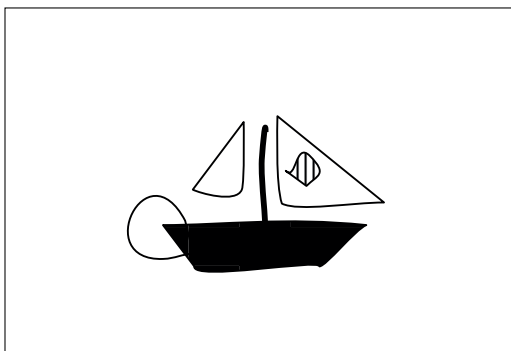
gezeichnet mit Objektsilhouetten –  $\bar{x}$  Rating: 62,3 von 100 (SD = 21,7)



gezeichnet mit Gesten –  $\bar{x}$  Rating: 76,7 von 100 (SD = 18,4)



gezeichnet mit Braille-Text-Menü –  $\bar{x}$  Rating: 88,1 von 100 (SD = 12,8)



gezeichnet mit Digitalisierungsstift (Stylus) –  $\bar{x}$  Rating: 61,8 von 100 (SD = 22,9)

**Abbildung 8.2:** Gegenüberstellung von Zeichnungen mit dem multimodalen kollaborativen Zeichenwerkzeug mit taktiler Rückmeldung (linke Spalte) und Freihandzeichnungen auf taktiler Zeichenfolie (rechte Spalte) einer geburtsblinden Frau

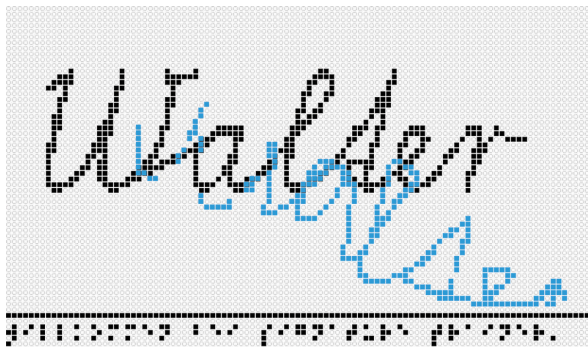
### 8.3 Ausblick

Durch den nutzerzentrierten Entwicklungsprozess und die durchgeführten Evaluationen mit einer Vielzahl blinder Menschen ergeben sich auch immer Potentiale für Verbesserungen. Da gerade das Zeichnen und der Umgang mit Grafiken für blinde und hochgradig sehbehinderte Menschen nicht alltägliche und schwierige Aufgaben darstellen, wünschen sich einige befragte blinde Personen noch weitreichendere Unterstützung beim Zeichnen als diese derzeit schon verfügbar ist. Zudem bietet der Anforderungskatalog aus Abschnitt 4.3.1 und die darauf beruhende Bewertung des Zeichensystems (Abschnitt 7.4) Raum für Verbesserungen, gerade bei den nur teilweise oder nicht erfüllten Kriterien.

- |  |  |
|--|--|
| weitere Zeichen-<br>unterstützung                                | Unabhängig von der angewendeten Zeichenmodalität bedarf es für einige Zeichenaufgaben Hilfestellung bei der Ausrichtung und Verbindung von Formen. Dazu gehören zum Beispiel das Kombinieren von Formen durch logische Operationen, das Ausrichten an einer gemeinsamen Referenz oder an anderen Formen ( <i>Snapping</i> ) und Ähnliches. Zudem ist ein Zugang zu visuellen Eigenschaften, wie beispielsweise Farbe, bereitzustellen. Das einfache Verbinden von Objekten mittels Linien zur Erstellung von einfachen Diagrammen wurde durch potentielle blinde Nutzende ebenso gefordert wie die Erweiterung der verfügbaren Objektpaletten um spezialisierte und domänenspezifische Formenpaletten. Viele geäußerten Wünsche von blinden Menschen zielen darauf ab, dass sie eine spezielle Art von Grafik, beispielsweise ein Diagramm, erstellen möchten und diese Aufgabe mit den angebotenen Mechanismen zu aufwendig erscheint oder sie es sich nicht zutrauen würden. |
| Geometrie  | Gerade auch das Themenfeld der Geometrie und wie diese im Rahmen einer (schulischen) Ausbildung vermittelt wird, orientiert sich eher an Zeichentechniken sehender Menschen, die solche Grafiken mit Stift, Papier und Konstruktionshilfen (Zirkel, Geodreieck, etc.) erzeugen. Dies unterscheidet sich sehr stark vom hier präsentierten Ansatz, idealisierte Formen direkt bereitzustellen, anstatt diese aufwendig manuell zu konstruieren. Dennoch ist gerade dieses Wissen um die Erstellungstechniken ein zentraler Punkt in der Ausbildung, dem mit anderen zugänglichen digitalen Zeichenwerkzeugen begegnet werden sollte.  |
| externe<br>Programme<br>nutzen                                   | Für domänenspezifische grafische Probleme ist es vorstellbar, dass externe (zugängliche) Programme zur Erzeugung einer Basisgrafik genutzt werden. Diese Grafik kann wiederum in den kollaborativen Zeichenarbeitsplatz importiert und dort durch eine sehbehinderte oder blinde Person sowohl betrachtet als auch bearbeitet werden. Mit <i>SVG-Plott</i> wurde ein solches Programm bereits für mathematische Funktionsgraphenplots realisiert [*BPW14].   |
| Erweiterung und<br>Verbesserungen<br>der Zeichen-<br>modalitäten | Jede der angebotenen Zeichenmodalitäten bietet Raum für Verbesserungen. Für die Braille-Text-Menüs und die darin angebotenen Standardformen besteht, wie bereits erwähnt, die Forderung nach einer breiteren Auswahl an verfügbaren Formen. Ebenso verhält es sich mit den verfügbaren Formen, welche sich via Gesten zeichnen lassen. Hier kommt jedoch erschwerend hinzu, dass eine Erhöhung der Anzahl an möglichen Formen und damit verbundenen Gesten, die korrekte Klassifizierung weiter erschwert. Allgemein könnte nach einem besseren Gestenerkennung selbst beziehungsweise einem robusteren und dennoch einfachen Gestenset gesucht werden. Das Trainieren des Gestenerkenners auf individuelle Eigenheiten von Nutzenden stellt ebenfalls eine Möglichkeit der Verbesserung dar.  |

Der Einsatz von Gesten könnte über das Erstellen von Formen auch zur Manipulation eingesetzt werden. Gesten, die den Charakter von direkter Manipulation aufweisen, sind allerdings aufgrund des *Midas-Touch Effektes* nur bedingt auf der taktilen Darstellungsfläche selbst vorstellbar. Eine Trennung des Ein- und Ausgabegerätes, wie es beim Digitalisierungsstift erfolgreich gezeigt wurde, kann auch hier angewendet werden. Vorstellbar sind externe Touchpads





a) Überlagerung der taktilen Vorgabe „Walter“ eines interaktiven, stiftbasierten Unterschriftentrainers mit der getätigten digitalisierten Eingabe (in blau) [sSch18a]



b) späterblindete Frau schreibt japanisches Steno mit Digitalisierungsstift im zugänglichen Zeichenarbeitsplatz

**Abbildung 8.3:** Weitere Beispiele für den Einsatz des Digitalisierungsstiftes (Stylus) in Kombination mit der taktilen Ausgabe

oder andere Peripheriegeräte, die einen intuitiven Zugang zu Manipulationsoperationen ermöglichen. Vorstellbar sind jedoch auch Gesten auf der taktilen Darstellungsfläche, die einen deiktischen Anteil aufweisen. So könnten sich beispielsweise Objekte einfach mittels Gesten löschen, gruppieren oder verbinden beziehungsweise vereinigen lassen. Ob und wie sich solche Gesten ohne eine zweite kontrollierende oder referenzgebende Hand anwenden lassen, muss jedoch untersucht und geeignet umgesetzt werden. Darüber hinaus bedarf es geeigneter Konzepte, wie die im System verwendeten Gesten blinden und hochgradig sehbehinderten Menschen im Rahmen einer Hilfe(-Datei) oder Schulung vermittelt werden können. Oft ist eine einfache Beschreibung der Gesten unzureichend.

Der Umgang mit dem Digitalisierungsstift stellte viele blinde Testpersonen vor große Probleme. Auch wenn alle Teilnehmenden die großen Potentiale dieser Freihandeingabe erkannten, sind doch vor allem weitergehende Möglichkeiten der Fehlerkorrektur anzubieten. Dazu zählt nicht allein das einfache Entfernen unerwünschter Strukturen. Auch das Kombinieren von Teilpfaden zu einer zusammengesetzten Form muss ermöglicht und deutlich erleichtert werden. Ebenso sollte ein Freihandlöschen – eine Art Radiergummi – bereitgestellt werden, der es ebenso einfach ermöglicht, große Teile einer Zeichnung zu entfernen, ohne deren Einzelpunkte sukzessive löschen zu müssen.

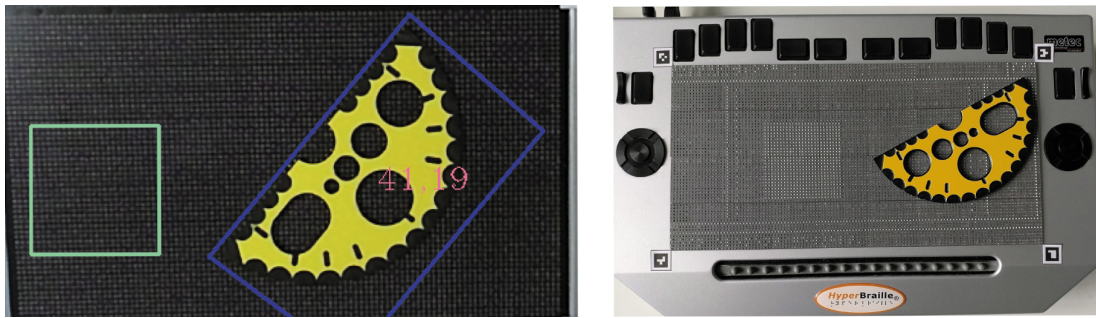
Im Bereich des Umgangs mit einem Stift als zusätzliches Eingabegerät für ein taktilen Display, haben sich zwei weitere Einsatzszenarien aufgezeigt, welche nur sehr wenige Modifikationen am bisherigen Zeichensystem bedingen. Der taktilen Zugang zu Handschrift ermöglicht es, dieses Kommunikationsmittel auch für Menschen mit visuellen Einschränkungen kontrollierbar zu gestalten. So wurde bereits ein Trainingsprogramm für Unterschriften mit Hilfe der stiftbasierten Zeichenmechanismen umgesetzt [sSch18a]. Dieses ermöglicht es blinden Menschen, sich selbständig ihren Namen als handschriftliche Signatur zu erarbeiten. Dabei können sie das Ergebnis ihres Handelns und Übens immer taktil nachverfolgen (siehe Abbildung 8.3 a). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Handschriftskizzen zu digitalisieren und gleichzeitig taktil lesbar zu machen. Dies kam vor allem bei späterblindeten Dolmetschern sehr gut an, die ihre Gesprächsprotokolle oftmals noch in handschriftlichem Steno aufzeichnen und diese Protokolle dann im Nachgang übersetzen (siehe Abbildung 8.3 b).

Die Nutzung eines Kamerasystems bietet ein großes Potential, auch wenn es derzeit von den Testteilnehmenden eher abgelehnt wurde. Bereits das Zeichnen mit Objektsilhouetten konnte zeigen, dass es die effizienteste aller vier Zeichenmodalitäten ist. Mit keiner anderen Methode konnten Nutzende annähernd schnell ihre Zeichnungen erstellen. Dennoch liegt viel Kritik in der Übertragung des Kamerabildes in die angebotene taktilen Darstellung. Die Erstellung idealisierter grafischer Primitive würde den Nutzererwartungen hier deutlich eher entsprechen.

Stylus

weitere  
Verwendungs-  
zwecke für  
Stiftinteraktion

Kamerainteraktion



**Abbildung 8.4:** Kamerabasierte Tangible-Erkennung und Interaktion mit dem zugänglichen Zeichenarbeitsplatz: erkanntes Tangible-Objekt und Interpretation (links), Grafikobjekterstellung und Manipulation mittels Tangible (rechts) [sSch17]

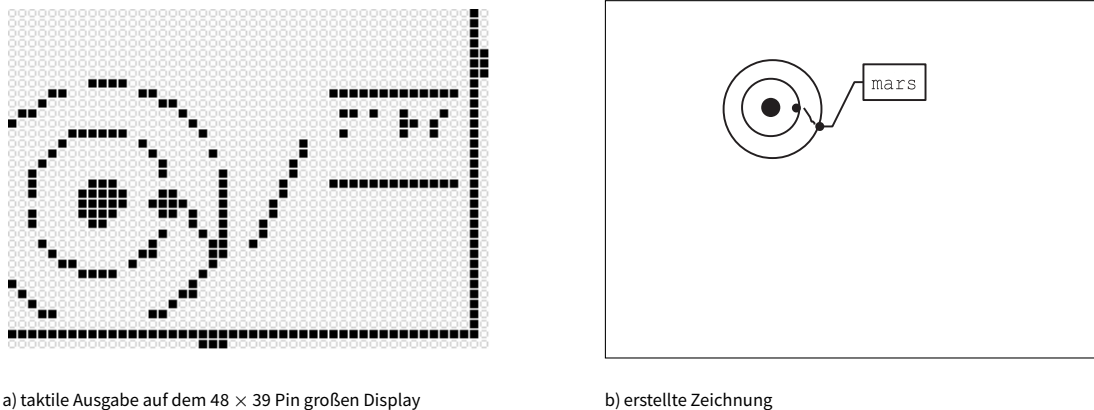
Der Einsatz von Tangibles – also Realobjekte, an die eine Funktion jenseits ihrer Gestalt gebunden ist – könnte hier Abhilfe schaffen. Die Umsetzung eines Zylinders in einen perfekten Kreis und ähnliche Verbindungen würden sicherlich die Akzeptanz fördern.

**Tangibles** Der Einsatz von Tangibles als Hilfsmittel zum Zeichnen auf dem Arbeitsplatz wurde bereits prototypisch untersucht [sSch17] (siehe Abbildung 8.4). Dabei stellen vor allem technische Probleme die größten Hürden zum effektiven Einsatz solcher Mechanismen dar. Die Kopplung an ein Kamerabild bringt Probleme mit der Umgebungsbeleuchtung mit sich. Zudem muss bei einem taktilen Display, wie es in dieser Arbeit eingesetzt wurde, das detektierende Bild von oberhalb der Zeichenfläche aufgenommen werden, was wiederum zu Verdeckungen durch die Hände von Nutzenden führt. Während dies bei der reinen Formenerkennung und daran gebundenen Erstellung weniger ein Problem darstellt, so macht sich diese Einschränkung bei der Nutzung eines Tangibles als Interaktionswerkzeug – beispielsweise zur Manipulation – sehr deutlich negativ bemerkbar. Erste Nutzertests zeigten nur wenig Akzeptanz für den Einsatz von Tangibles als Interaktionsschnittstelle.

**Sprachinteraktion** Der Einsatz von Sprache als Ausgabemodalität ist weit verbreitet und Standard bei Benutzungsschnittstellen für blinde und sehbehinderte Menschen. Auch der kollaborative Zeichenarbeitsplatz setzt neben einer taktilen Ausgabe hauptsächlich auf Rückmeldungen per Sprachausgabe (TTS). Sprache kann aber auch als Eingabemodalität verwendet werden und erfährt derzeit einen deutlichen Zuwachs an Verlässlichkeit und Akzeptanz. Für den zugänglichen Zeichenarbeitsplatz wurden daher im Rahmen eines Wizard-of-Oz-Experimentes Konzepte zur Sprachinteraktion untersucht [sBol18]. Dabei bestätigte sich, dass Nutzende ab und an auf ein Sprachkommando – welches mit einem Startwort eingeleitet werden muss – zurückgreifen würden. Dies wäre beispielsweise beim Erstellen von Formen oder zur Programmsteuerung denkbar. Bei hochfrequenten Kommandos, wie beispielsweise dem schrittweisen Verschieben oder Vergrößern von Objekten, wurde Sprachinteraktion jedoch als nicht effizient und wenig benutzerfreundlich abgewertet.

**Größe der taktilen Ausgabefläche** Die Verfügbarkeit von großflächigen, grafikfähigen taktilen Displays ist derzeit stark begrenzt. Dies liegt auch an den noch hohen Anschaffungskosten für solche Geräte. Eine Lösung, um günstigere Preise am Markt realisieren zu können, ist es die Displayfläche und damit den Materialeinsatz zu verringern. Zwar ist der generelle Aufbau des Zeichenarbeitsplatzes darauf ausgelegt, dass er auch auf kleinen taktilen Anzeigeflächen ausgegeben werden kann, jedoch stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit. Kleine Ausgabeflächen bedeuten wenig Anzeigeraum für Informationen und einen kleinen Interaktionsraum. Spricht man blinde Personen auf ein solches Szenario an, so antworteten diese immer wieder, dass sie eine deutlich größere Darstellungsfläche für die Interaktion auf Grafiken bevorzugen würden – vor allen, wenn Portabilität keine Rolle spielt.

Auch die Evaluationen haben gezeigt, dass viele blinde Menschen hauptsächlich in einer Art Überblicksanzeige, in der sie die Gesamtgrafik vollständig betrachten können, interagiert haben (vergleiche Abschnitt 6.3.4). Ein taktils Display, das sich der Ausgabefläche eines DIN A4-Blattes annähert, ist darum sicherlich für einen solchen Anwendungsfall, wie er in dieser Arbeit vorgestellt wurde, zu präferieren. Dennoch schaffte es eine blinde Person auch auf einem *metec Tactile2D* ( $48 \times 39$  Anzeigestifte) eine kleine Zeichnung zu erstellen (siehe Abbildung 8.5).



**Abbildung 8.5:** Zeichnung einer späterblindeten Frau von der Flugbahn einer Marssonde von der Erde zum Mars auf einem *metec Tactile2D* Display mit dem zugänglichen Zeichenarbeitsplatz

## 8.4 Schlussbemerkung

Nicht jedem erschließt sich unmittelbar, warum sich blinde und sehbehinderte Menschen ein Zeichenwerkzeug wünschen. Werden blinde Teilnehmende der in dieser Arbeit präsentierten Evaluationen nach möglichen Einsatzgebieten gefragt, sehen die meisten die großen Vorteile im Bereich des Mobilitätstrainings, beispielsweise durch das Zeichnen von Karten, Lageplänen und Ähnlichem, sowie im beruflichen und schulischen Bereich. Hier ist vor allem das Erstellen von Skizzen, Diagrammen und das Bewältigen von speziellen grafischen Aufgaben (Entwürfe, Notationen etc.) zu nennen. Ein Großteil der Befragten sprach sich jedoch auch für eine Nutzung im privaten Umfeld aus – beispielsweise zur Freizeitbeschäftigung (Malen, Spielen, Hobbys, etc.) oder zur persönlichen Bildung (aktiver Zugang zu Kunst oder anderen visuellen Darstellungen, wie Piktogrammen, Schriften, etc.).

Einsatzgebiete

Für die Vermittlung von grafischen Sachverhalten direkt mit einer blinden Person zusammen hat sich der Arbeitsplatz bis heute als wertvolles Werkzeug und Hilfsmittel erwiesen. Dabei wurden hauptsächlich taktil-grafische Umsetzungen von visuellen Grafiken für eine einzelne Zielperson direkt mit ihr besprochen und auf ihr individuelles Verständnis hin angepasst. Darüber hinaus wurden grafische Strukturen für blinde Personen direkt mit ihnen zusammen nachgebildet, um sie in den Entstehungsprozess direkt mit einzuschließen. So entstanden mehrere Karten, taktil Umsetzungen für Spielfelder und Spielkarten, sowie Strukturdiagramme für Webseiten und Ähnliches. In diesen Fällen zeigt sich der inklusive und kollaborative Charakter des Zeichenarbeitsplatzes als sein größter Vorteil.

kollaborativer Einsatz

Jede blinde Person, die praktisch Hand an den Zeichenarbeitsplatz legen konnte und die Möglichkeiten der selbständigen Grafikveränderungen in Echtzeit erleben durfte, musste lächeln. Diese, für die Gruppe von blinden Menschen derzeit absolut neue und bahnbrechende Erfahrung mit der Aussicht auf die Eröffnung neuer Möglichkeiten, berührte jede einzelne sehbehinderte Testperson sowie Besucher und Besucherinnen von praktischen Demonstrationen

Feedback der Zielgruppe

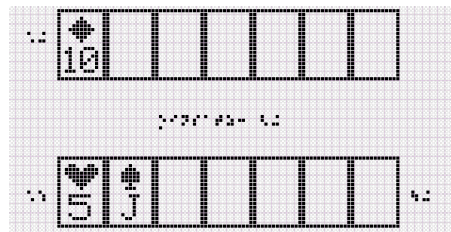


nachhaltig. Der Wunsch und der Bedarf nach einem solchen System durch Betroffene selbst wurde bei solchen Gelegenheiten immer wieder bekräftigt. Natürlich ist die Verbreitung eines derartigen Systems unmittelbar an die Verbreitung taktiler grafkfähiger Flächendisplays gekoppelt, welche wiederum von der Verfügbarkeit geeigneter Anwendungen abhängig ist. Die Zukunft wird zeigen, ob sich solche Systeme flächendeckend durchsetzen können.

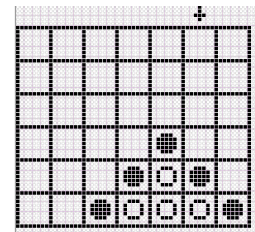
**Verwertung BrailleIO** Gerade das *BrailleIO*-Framework (siehe Abschnitt 6.2.1) hat das Potential, die Verfügbarkeit von Anwendungen für solche taktilen Flächendisplays deutlich zu verbessern. Durch den erleichterten Einstieg in die Programmierung, wie bei einem Software Development Kit (SDK), können Hürden abgebaut und eine breitere Entwicklerbasis angesprochen werden. Darüber hinaus ist zur Entwicklung einer Anwendung der Zugang zu einem realen taktilen Flächen-display nicht mehr unbedingt notwendig. Bis heute wurden bereits einige Projekte auf Basis des Frameworks entwickelt, darunter viele Spiele [sFR17; sPL17] (siehe Abbildung 8.6), aber auch audio-taktile Bildbetrachter für SVG-Grafiken [sHop18; sKF16; sVB17] oder spezialisierte Screenreader [PM15; Zin+17] – beispielsweise für den Zugang zu Webseiten [TZL19] und E-Learning-Angeboten [Köh16; sVet18].



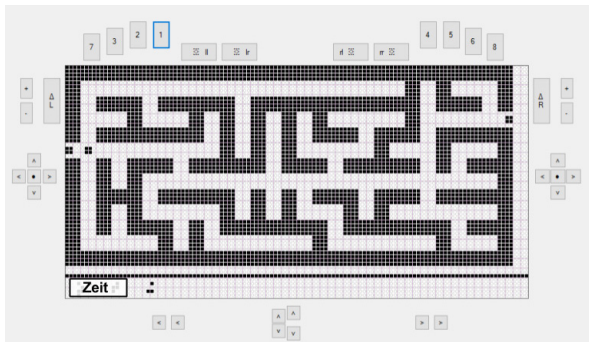
a) Schiffe-Versenken [sVB17]



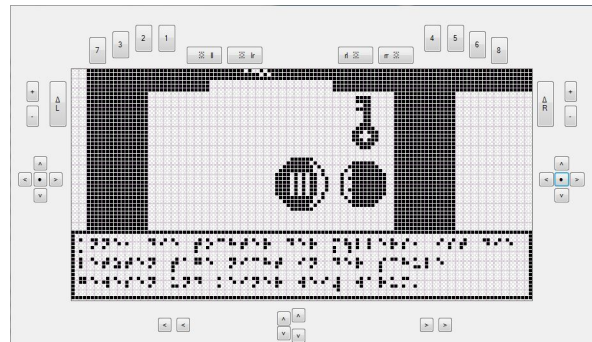
b) taktil-grafisches Blackjack [sVB17]



c) Vier-Gewinnt [sVB17]



d) Labyrinth [sPL17]



e) taktil-grafisches Rollenspiel (RPG) [sFR17]

**Abbildung 8.6:** Spiele für blinde Menschen auf taktilen Flächendisplays basierend auf dem *BrailleIO*-Framework

# Literatur

---

## Referenzen

- [AE13] Nazatul Naquiah Abd Hamid und Alistair D. N. Edwards. "Facilitating Route Learning Using Interactive Audio-Tactile Maps for Blind and Visually Impaired People". In: *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '13. Paris, France: Association for Computing Machinery, Apr. 2013, S. 37–42. ISBN: 9781450319522. DOI: **10.1145/2468356.2468364** (siehe S. 83, 84).
- [Abu+10] Iyad Abu Doush, Enrico Pontelli, Tran Cao Son, Dominic Simon und Ou Ma. "Multimodal Presentation of Two-Dimensional Charts: An Investigation Using Open Office XML and Microsoft Excel". In: *ACM Trans. Access. Comput.* 3.2 (Nov. 2010), 8:1–8:50. ISSN: 1936-7228. DOI: **10.1145/1857920.1857925** (siehe S. 84).
- [Alb06] Peter Albert. "Math Class: An Application for Dynamic Tactile Graphics". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Arthur I. Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 1118–1121. ISBN: 978-3-540-36021-6. DOI: **10.1007/11788713\_162** (siehe S. 53, 91, 98, 106, 108, 110, 112, 114).
- [Ama02] Sheila Amato. "Standards for competence in braille literacy skills in teacher preparation programs". In: *Journal of Visual Impairment and Blindness* 96 (2002), S. 143–153. DOI: **10.1177/0145482X0209600303** (siehe S. 16, 40).
- [AL75] Patricia Apkarian-Stielau und Jack M. Loomis. "A comparison of tactile and blurred visual form perception". In: *Perception & Psychophysics* 18.5 (Sep. 1975), S. 362–368. ISSN: 1532-5962. DOI: **10.3758/BF03211213** (siehe S. 16).
- [Arc+07] Dominique Archambault, Bernhard Stöger, Mario Batusic, Claudia Fahrengruber und Klaus Miesenberger. "A Software Model to Support Collaborative Mathematical Work Between Braille and Sighted Users". In: *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '07. Tempe, Arizona, USA: ACM, 2007, S. 115–122. ISBN: 978-1-59593-573-1. DOI: **10.1145/1296843.1296864** (siehe S. 31, 32).
- [Arr+11] Patricia Arroba, JuanCarlos Vallejo, Alvaro Araujo, David Fraga und Jose M. Moya. "A Methodology for Developing Accessible Mobile Platforms over Leading Devices for Visually Impaired People". In: *Ambient Assisted Living*. Hrsg. von Jose Bravo, Ramon Hervas und Vladimir Villarreal. Bd. 6693. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 209–215. ISBN: 978-3-642-21302-1. DOI: **10.1007/978-3-642-21303-8\_29** (siehe S. 23).
- [AT00] Chieko Asakawa und Hironobu Takagi. "Annotation-based Transcoding for Nonvisual Web Access". In: *Proceedings of the Fourth International ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '00. Arlington, Virginia, USA: ACM, 2000, S. 172–179. ISBN: 1-58113-313-8. DOI: **10.1145/354324.354588** (siehe S. 40, 60).
- [AL03] Elisabeth Salzhauer Axel und Nina Sobol Levent. *Art beyond sight: a resource guide to art, creativity, and visual impairment*. NY, USA: Art Education for the Blind (aeb) und American Foundation for the Blind Press (AFB), 2003. ISBN: 0-89128-850-3 (siehe S. 5).
- [Bal+13] Suzanne P. Balik, Sean P. Mealin, Matthias F. Stallmann und Robert D. Rodman. "GSK: Universally Accessible Graph SKetching". In: *Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. SIGCSE '13. Denver, Colorado, USA: ACM, 2013, S. 221–226. ISBN: 978-1-4503-1868-6. DOI: **10.1145/2445196.2445266** (siehe S. 7, 31, 67, 82, 94, 95, 106, 109, 110, 112–114).
- [BMS08] Thimoty Barbieri, Lorenzo Mosca und Licia Sbattella. "Learning Math for Visually Impaired Users". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 907–914. ISBN: 978-3-540-70540-6. DOI: **10.1007/978-3-540-70540-6\_136** (siehe S. 91, 106, 114).

- [BU02] Mario Batusic und Franz Urban. "Preparing Tactile Graphics for Traditional Braille Printers with BrlGraphEditor". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus und Wolfgang Zagler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002, S. 535–536. ISBN: 978-3-540-45491-5. DOI: [10.1007/3-540-45491-8\\_101](https://doi.org/10.1007/3-540-45491-8_101) (siehe S. 67).
- [Bau+10] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr und Chris Harrison. "TeslaTouch: Electro vibration for Touch Surfaces". In: *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '10. New York, New York, USA: ACM, Okt. 2010, S. 283–292. ISBN: 978-1-4503-0271-5. DOI: [10.1145/1866029.1866074](https://doi.org/10.1145/1866029.1866074) (siehe S. 48).
- [Bau14] Andreas Baumüller. *HyperBrailleGeo Handbuch*. Techn. Ber. metec AG, Stuttgart, Germany, 2014 (siehe S. 92, 106, 114).
- [Ben+04] Mohamed Benali-khoudja, Moustapha Hafez, Jean-marc Alex und Abderrahmane Kheddar. "Tactile Interfaces: a State-of-the-Art Survey". In: *Int. Symposium on Robotics*. Paris, France, März 2004, S. 721–726. URL: [https://www.researchgate.net/profile/M\\_Hafez/publication/228800636\\_Tactile\\_Interfaces\\_a\\_State-of-the-Art\\_Survey/links/53d0b2160cf2f7e53cfb9170/Tactile-Interfaces-a-State-of-the-Art-Survey.pdf](https://www.researchgate.net/profile/M_Hafez/publication/228800636_Tactile_Interfaces_a_State-of-the-Art_Survey/links/53d0b2160cf2f7e53cfb9170/Tactile-Interfaces-a-State-of-the-Art-Survey.pdf) (siehe S. 46).
- [Ber72] Edward P. Berlá. "Behavioral Strategies and Problems in Scanning and Interpreting Tactual Displays". In: *New Outlook for the Blind* 66.8 (Okt. 1972), S. 277–286 (siehe S. 19).
- [BB77] Edward P. Berlá und Lawrence H. Butterfield Jr. "Tactual Distinctive Features Analysis: Training Blind Students in Shape Recognition and in Locating Shapes On a Map". In: *The Journal of Special Education* 11.3 (Okt. 1977), S. 335–346. ISSN: 0022-4669. DOI: [10.1177/002246697701100309](https://doi.org/10.1177/002246697701100309) (siehe S. 17, 20).
- [Bes+18] Nadine Besse, Samuel Rosset, Juan José Zárate, Elisabetta Ferrari, Luca Brayda und Herbert Shea. "Understanding Graphics on a Scalable Latching Assistive Haptic Display Using a Shape Memory Polymer Membrane". In: *IEEE Transactions on Haptics* 11.1 (Jan. 2018), S. 30–38. DOI: [10.1109/TOH.2017.2767049](https://doi.org/10.1109/TOH.2017.2767049) (siehe S. 281).
- [Béz68] Pierre E. Bézier. "How Renault Uses Numerical Control for Car Body Design and Tooling". In: *1968 Automotive Engineering Congress and Exposition*. Bd. 77. Warrendale, PA, USA: SAE International, Feb. 1968, 68 ff. DOI: [10.4271/680010](https://doi.org/10.4271/680010) (siehe S. 182).
- [BSG89] Meera M. Blattner, Denise A. Sumikawa und Robert M. Greenberg. "Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles". In: *Human-Computer Interaction* 4.1 (1989), S. 11–44. DOI: [10.1207/s15327051hci0401\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327051hci0401_1) (siehe S. 21).
- [BE00] P. Blenkhorn und G. Evans. "Architecture and requirements for a Windows screen reader". In: *IEE Seminar on Speech and Language Processing for Disabled and Elderly People (Ref. No. 2000/025)*. Apr. 2000, S. 1/1–1/4. DOI: [10.1049/ic:20000131](https://doi.org/10.1049/ic:20000131) (siehe S. 28, 30).
- [BE98] Paul L. Blenkhorn und David G. Evans. "Using speech and touch to enable blind people to access schematic diagrams". In: *Journal of Network and Computer Applications* 21.1 (1998), S. 17–29. ISSN: 1084-8045. DOI: [10.1006/jnca.1998.0060](https://doi.org/10.1006/jnca.1998.0060) (siehe S. 84, 96, 97, 106, 109, 113, 114).
- [Bon+10] Matthew N. Bonner, Jeremy T. Brudvik, Gregory D. Abowd und W. Keith Edwards. "No-Look Notes: Accessible Eyes-Free Multi-touch Text Entry". In: *Pervasive Computing*. Hrsg. von Patrik Floréen, Antonio Krüger und Mirjana Spasojevic. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 409–426. ISBN: 978-3-642-12654-3. DOI: [10.1007/978-3-642-12654-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12654-3_24) (siehe S. 23).
- [BS19] Pranjal Protim Borah und Keyur Sorathia. "Direct Observation of Tactile Geometric Drawing by Visually Impaired and Blind Students". In: *Proceedings of the 10th Indian Conference on Human-Computer Interaction*. IndiaHCI '19. Hyderabad, India: ACM, Nov. 2019, 11:1–11:10. ISBN: 978-1-4503-7716-4. DOI: [10.1145/3364183.3364185](https://doi.org/10.1145/3364183.3364185) (siehe S. 63, 64, 75, 76).
- [BC12] Luca Brayda und Claudio Campus. "Conveying perceptible virtual tactile maps with a minimalist sensory substitution device". In: *2012 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games (HAVE 2012) Proceedings*. Munich, Germany, Okt. 2012, S. 7–12. DOI: [10.1109/HAVE.2012.6374440](https://doi.org/10.1109/HAVE.2012.6374440) (siehe S. 50, 51).
- [BA91] Jacob Breider und Arend R. Arends. "Word processor work station with a braille reading line". Englisch. 4,985,692. Jan. 1991 (siehe S. 21).
- [Bre94] Stephen A. Brewster. "Providing a Structured Method for Integrating Non-Speech Audio into Human-Computer Interfaces". Diss. University of York – Human-Computer Interaction Group, Department of Computer Science, Aug. 1994. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/be86/850722cb20f0408%201939234f3b743bf834fae.pdf> (siehe S. 21, 82).
- [BCH98] Stephen A. Brewster, Adrian Capriotti und Cordelia V. Hall. "Using compound earcons to represent hierarchies". In: *HCI Letters* 1.1 (Apr. 1998), S. 6–8. URL: <http://eprints.gla.ac.uk/3277/> (siehe S. 82).

- [Bre+08] Stephen A. Brewster, Steven A. Wall, Lorna M. Brown und Eve E. Hoggan. “The Engineering Handbook of Smart Technology for Aging, Disability, and Independence”. In: Hrsg. von Abdelsalam (Sumi) Helal, Mounir Mokhtari und Bessam Abdulrazak. John Wiley & Sons, Inc., Jan. 2008. Kap. Chapter 18 – Tactile Displays, S. 339–352. ISBN: 9780471711551. DOI: [10.1002/9780470379424.ch18](https://doi.org/10.1002/9780470379424.ch18) (siehe S. 47).
- [BB04] Stephen Brewster und Lorna M. Brown. “Tactons: Structured Tactile Messages for Non-visual Information Display”. In: *Proceedings of the Fifth Conference on Australasian User Interface - Volume 28*. AUIC '04. Dunedin, New Zealand: Australian Computer Society, Inc., 2004, S. 15–23. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=976310.976313> (siehe S. 272).
- [Bro+12] Anke Brock, Philippe Truillet, Bernard Oriola, Delphine Picard und Christophe Jouffrais. “Design and User Satisfaction of Interactive Maps for Visually Impaired People”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Arthur Karshmer, Petr Penaz und Wolfgang Zagler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 544–551. ISBN: 978-3-642-31534-3. DOI: [10.1007/978-3-642-31534-3\\_80](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31534-3_80) (siehe S. 68).
- [Bro96] John Brooke. “SUS – A quick and dirty usability scale”. In: *Usability Evaluation in Industry*. Hrsg. von Patrick W. Jordan, Thomas Bruce, Bernard A. Weerdmeester und Ian L. McClelland. Reading, United Kingdom: Taylor & Francis, 1996, S. 189–194 (siehe S. 208, 210).
- [BPS04] Andy Brown, Steve Pettifer und Robert Stevens. “Evaluation of a Non-visual Molecule Browser”. In: *Proceedings of the 6th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '04. Atlanta, GA, USA: ACM, 2004, S. 40–47. ISBN: 1-58113-911-X. DOI: [10.1145/1028630.1028639](https://doi.org/10.1145/1028630.1028639) (siehe S. 82).
- [BH12] Craig Brown und Amy Hurst. “VizTouch: Automatically Generated Tactile Visualizations of Coordinate Spaces”. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. TEI '12. Kingston, Ontario, Canada: ACM, 2012, S. 131–138. ISBN: 978-1-4503-1174-8. DOI: [10.1145/2148131.2148160](https://doi.org/10.1145/2148131.2148160) (siehe S. 43).
- [Bro+03] Lorna M. Brown, Stephen A. Brewster, Ramesh Ramloll, Mike Burton und Beate Riedel. “Design guidelines for audio presentation of graphs and tables”. In: *9th International Conference on Auditory Display (ICAD)*. Hrsg. von E. Brazil und B. Shinn-Cunningham. International Conference on Auditory Display, 2003, S. 284–287. URL: <http://eprints.gla.ac.uk/3196/> (siehe S. 82).
- [BKH14] Erin Buehler, Shaun K. Kane und Amy Hurst. “ABC and 3D: Opportunities and Obstacles to 3D Printing in Special Education Environments”. In: *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*. ASSETS '14. Rochester, New York, USA: ACM, 2014, S. 107–114. ISBN: 978-1-4503-2720-6. DOI: [10.1145/2661334.2661365](https://doi.org/10.1145/2661334.2661365) (siehe S. 43).
- [BC08] Sheryl E. Burgstahler und Rebecca C. Cory, Hrsg. *Universal design in higher education: From principles to practice*. Harvard Education Press, 2008. ISBN: 978-1-891792-90-8 (siehe S. 9).
- [Bus03] Linda Bussell. “Touch Tiles: Elementary Geometry Software with a Haptic and Auditory Interface for Visually Impaired Children”. In: *Proceedings of EuroHaptics Conference*. EuroHaptics. 2003, S. 512–515. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.3.4699&rep=rep1&type=pdf> (siehe S. 48, 84).
- [Buz+15a] Maria C. Buzzi, Marina Buzzi, Barbara Leporini und Caterina Senette. “Playing with geometry: a Multimodal Android App for Blind Children”. In: *Proceedings of the 11th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*. ACM. 2015, S. 134–137. DOI: [10.1145/2808435.2808458](https://doi.org/10.1145/2808435.2808458) (siehe S. 83, 93, 106, 110, 114).
- [Buz+15b] Maria Claudia Buzzi, Marina Buzzi, Barbara Leporini und Amaury Trujillo. “Exploring Visually Impaired People’s Gesture Preferences for Smartphones”. In: *Proceedings of the 11th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*. CHIItaly 2015. Rome, Italy: ACM, Sep. 2015, S. 94–101. ISBN: 978-1-4503-3684-0. DOI: [10.1145/2808435.2808448](https://doi.org/10.1145/2808435.2808448) (siehe S. 25–27).
- [Cal+06] Matt Calder, Robert F. Cohen, Jessica Lanzoni und Yun Xu. “PLUMB:: An Interface for Users Who Are Blind to Display, Create, and Modify Graphs”. In: *Proceedings of the 8th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '06. Portland, Oregon, USA: ACM, 2006, S. 263–264. ISBN: 1-59593-290-9. DOI: [10.1145/1168987.1169046](https://doi.org/10.1145/1168987.1169046) (siehe S. 82, 95, 106, 109, 110, 114).
- [CL02] Russell N. Carney und Joel R. Levin. “Pictorial Illustrations Still Improve Students’ Learning from Text”. In: *Educational Psychology Review* 14.1 (März 2002), S. 5–26. ISSN: 1573-336X. DOI: [10.1023/A:1013176309260](https://doi.org/10.1023/A:1013176309260) (siehe S. 2).
- [CAA18] Tusher Chakraborty, Taslim Arefin Khan und Alim A. B. M. Al Islam. “Towards Devising a Low-cost and Easy-to-use Arithmetic Learning Framework for Economically Less-privileged Visually Impaired Children”. In: *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)* 11.4 (Nov. 2018), 21:1–21:31. ISSN: 1936-7228. DOI: [10.1145/3265756](https://doi.org/10.1145/3265756) (siehe S. 63).
- [CK15] Hsin-Yi Chao und John M. Kennedy. “Metaphoric Car Drawings By a 12-Year-Old Congenitally Blind Girl”. In: *Perception* 44.12 (Aug. 2015), S. 1349–55. DOI: [10.1177/0301006615596916](https://doi.org/10.1177/0301006615596916) (siehe S. 73).



- [CGK12] Gary Charness, Uri Gneezy und Michael A. Kuhn. "Experimental methods: Between-subject and within-subject design". In: *Journal of Economic Behavior & Organization* 81.1 (Jan. 2012), S. 1–8. ISSN: 0167-2681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009> (siehe S. 207).
- [Che+18] Lung-Pan Cheng, Li Chang, Sebastian Marwecki und Patrick Baudisch. "iTürk: Turning Passive Haptics into Active Haptics by Making Users Reconfigure Props in Virtual Reality". In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. Montreal QC, Canada: ACM, 2018, 89:1–89:10. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: [10.1145/3173574.3173663](https://doi.org/10.1145/3173574.3173663) (siehe S. 48).
- [Cho+04] Hyouk Ryeol Choi, Su-Won Lee, Kwang-Mok Jung, Ja Choon Koo, Sung Il Lee, Hoo-Gon Choi, Jae Wook Jeon und Jea-do Nam. "Tactile display as a Braille display for the visually disabled". In: *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566)*. Bd. 2. Sep. 2004, S. 1985–1990. DOI: [10.1109/IROS.2004.1389689](https://doi.org/10.1109/IROS.2004.1389689) (siehe S. 50).
- [Cla97] Sue Clamp. "Visual Impairment: Access to Education for Children and Young People". In: Hrsg. von Heather Mason und Stephen McCall. David Fulton Publishers, 1997. Kap. The Mainstream Curriculum: Principles of Access – Mathematics, S. 218–235. ISBN: 1-85346-412-0 (siehe S. 5).
- [CS82] James C. Craig und Carl E. Sherrick. "Tactual Perception: A Sourcebook". In: Hrsg. von William Schiff und Emerson Foulke. Cambridge University Press, 1982. Kap. Chapter 6: Dynamic tactile displays, S. 209–233. ISBN: 0521240956 (siehe S. 47).
- [CB08] Andrew Crossan und Stephen Brewster. "Multimodal Trajectory Playback for Teaching Shape Information and Trajectories to Visually Impaired Computer Users". In: *ACM Trans. Access. Comput.* 1.2 (Okt. 2008), 12:1–12:34. ISSN: 1936-7228. DOI: [10.1145/1408760.1408766](https://doi.org/10.1145/1408760.1408766) (siehe S. 27).
- [Dia+10] M. Bernardine Dias, Mohammed Kaleemur Rahman, Saurabh Sanghvi und Kentaro Toyama. "Experiences with Lower-cost Access to Tactile Graphics in India". In: *Proceedings of the First ACM Symposium on Computing for Development*. ACM DEV '10. London, United Kingdom: ACM, 2010, 10:1–10:9. ISBN: 978-1-4503-0473-3. DOI: [10.1145/1926180.1926193](https://doi.org/10.1145/1926180.1926193) (siehe S. 67).
- [DIN03] DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.) *ISO 14915-1: Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen – Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen*. Techn. Ber. DIN, EN ISO, Apr. 2003 (siehe S. 107–113, 271).
- [DIN18a] DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.) *ISO 9241-11: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*. Techn. Ber. DIN, EN ISO, Nov. 2018 (siehe S. 269, 270, 272).
- [DIN08] DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.) *ISO 9241-110: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Techn. Ber. DIN, EN ISO, Juli 2008 (siehe S. 107–113, 270, 271).
- [DIN18b] DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg). *DIN EN 301549 – Barrierefreiheitsanforderungen, geeignet für die öffentliche Beschaffung von IKT-Produkten und -Diensten in Europa; Englische Fassung EN 301 549 V1.1.2 (2015-04)*; Techn. Ber. ICS 03.100.10; 13.180; 33.020; 35.020. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Mai 2018 (siehe S. 4).
- [DIN07] DIN-Normenausschuss Medizin (NAMed). *DIN 32976:2007-08 – Blindenschrift – Anforderungen und Maße*. Techn. Ber. DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.), Aug. 2007 (siehe S. 38).
- [DIN94] DIN-Normenausschuss Medizin (NAMed). *DIN 32982:1994-08 – 8-Punkt-Brailleschrift für die Informationsverarbeitung – Identifikatoren, Benennungen und Zuordnung zum 8-Bit-Code*. Techn. Ber. DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.), Aug. 1994 (siehe S. 38).
- [Dou+09] Graeme Douglas, Julie Franks, Annette Weston und Ben Clements. *Braille in the 21st Century: opportunities, benefits, and challenges for adults with acquired sight loss, Research report for RNIB*. Forschungsber. Birmingham, UK: University of Birmingham, Juli 2009. URL: [http://live.rnib4.panlogic.co.uk/sites/default/files/2009\\_07\\_Braille\\_21st\\_Century\\_Full\\_Report.doc](http://live.rnib4.panlogic.co.uk/sites/default/files/2009_07_Braille_21st_Century_Full_Report.doc) (siehe S. 40).
- [DB92] Paul Dourish und Victoria Bellotti. "Awareness and Coordination in Shared Workspaces". In: *Conference on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW)*. Bd. 92. 3. Toronto, CA, Nov. 1992, S. 107–114. DOI: [10.1145/143457.143468](https://doi.org/10.1145/143457.143468) (siehe S. 33, 34).
- [Duc+16] Julie Ducasse, Marc J. M. Macé, Marcos Serrano und Christophe Jouffrais. "Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users". In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '16. San Jose, California, USA: ACM, 2016, S. 2186–2197. ISBN: 978-1-4503-3362-7. DOI: [10.1145/2858036.2858058](https://doi.org/10.1145/2858036.2858058) (siehe S. 105, 106, 112, 114).
- [Edm92] Polly Edman. *Tactile graphics*. American Foundation for the Blind, 1992. ISBN: 978-0891281948 (siehe S. 60, 70, 71, 75).

- [EHP15] Alistair D. N. Edwards, Nazatul Naquiah Abd Hamid und Helen Petrie. “Exploring Map Orientation with Interactive Audio-Tactile Maps”. In: *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*. Hrsg. von Julio Abascal, Simone Barbosa, Mirko Fetter, Tom Gross, Philippe Palanque und Marco Winckler. Cham: Springer International Publishing, 2015, S. 72–79. ISBN: 978-3-319-22701-6. DOI: [10.1007/978-3-319-22701-6\\_6](#) (siehe S. 84).
- [EMS95] W. Keith Edwards, Elizabeth D. Mynatt und Kathryn Stockton. “Access to Graphical Interfaces for Blind Users”. In: *interactions* 2.1 (Jan. 1995), S. 54–67. ISSN: 1072-5520. DOI: [10.1145/208143.208161](#) (siehe S. 28, 31, 32).
- [EGR91] Clarence A. Ellis, Simon J. Gibbs und Gail Rein. “Groupware: Some Issues and Experiences”. In: *Communications of the ACM* 34.1 (Jan. 1991), S. 39–58. ISSN: 0001-0782. DOI: [10.1145/99977.99987](#) (siehe S. 270).
- [EC93] Hermann Engesser und Volker Claus. *Duden Informatik – Ein Sachlexikon für Studium und Praxis*. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Mannheim [u.a.]: Dudenverlag, 1993. ISBN: 3411052325 (siehe S. 271).
- [Evr+08] Tatiana G. Evreinova, Grigori Evreinov, Roope Raisamo und Leena K. Vesterinen. “Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study”. In: *Universal Access in the Information Society* 7.1 (Apr. 2008), S. 93–102. ISSN: 1615-5297. DOI: [10.1007/s10209-007-0105-9](#) (siehe S. 47).
- [Fer15] Sandra Fernando. “Blind Drawing: Investigation into Screen Location Tracking for Computer Aided Interactive Drawing”. In: *SIGACCESS Access. Comput.* 111 (2015), S. 6–9. DOI: [10.1145/2809904.2809906](#) (siehe S. 98, 106, 110, 114).
- [FM08] Donal Fitzpatrick und Declan McMullen. “Distance Learning of Graphically Intensive Material for Visually Impaired Students”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Zuletzt besucht: Oktober 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 219–225. ISBN: 978-3-540-70540-6. DOI: [10.1007/978-3-540-70540-6\\_32](#) (siehe S. 84).
- [Fol+13] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge und Hiroshi Ishii. “inFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints Through Shape and Object Actuation”. In: *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST ’13. St. Andrews, Scotland, United Kingdom: ACM, Okt. 2013, S. 417–426. ISBN: 978-1-4503-2268-3. DOI: [10.1145/2501988.2502032](#) (siehe S. 49).
- [Fou+62] Emerson Foulke, Clarence H. Amster, Carson Y. Nolan und Ray H. Bixler. “The Comprehension of Rapid Speech by the Blind”. In: *Exceptional Children* 29.3 (1962), S. 134–142. DOI: [10.1177/001440296202900306](#) (siehe S. 21).
- [Fuj+08] Mamoru Fujiyoshi, Akio Fujiyoshi, Nobuyuki Ohtake, Katsuhito Yamaguchi und Yoshinori Teshima. “The Development of a Universal Design Tactile Graphics Production System BLOT2”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 938–945. ISBN: 978-3-540-70540-6. DOI: [10.1007/978-3-540-70540-6\\_141](#) (siehe S. 45, 68, 90, 91, 106, 110, 112, 114, 133).
- [Fuj+14] Mamoru Fujiyoshi, Akio Fujiyoshi, Akiko Osawa, Yusuke Kuroda und Yuta Sasaki. “Development of Synchronized CUI and GUI for Universal Design Tactile Graphics Production System BLOT3”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Cham: Springer International Publishing, 2014, S. 18–25. ISBN: 978-3-319-08599-9. DOI: [10.1007/978-3-319-08599-9\\_4](#) (siehe S. 31, 32, 90, 91, 96, 106, 109, 110, 112, 114, 133).
- [Fuj+18] Mamoru Fujiyoshi, Akio Fujiyoshi, Hiroshi Tanaka und Toru Ishida. “Universal Design Tactile Graphics Production System BLOT4 for Blind Teachers and Blind Staffs to Produce Tactile Graphics and Ink Print Graphics of High Quality”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger und Georgios Kouroupetroglou. Cham: Springer International Publishing, 2018, S. 167–176. ISBN: 978-3-319-94274-2. DOI: [10.1007/978-3-319-94274-2\\_23](#) (siehe S. 90, 91, 106, 111, 112, 114, 115, 133, 229).
- [Fuj+10] Mamoru Fujiyoshi, Takeshi Kaneko, Akio Fujiyoshi, Susumu Oouchi, Kenji Yamazawa, Yuji Ikegami, Yasunari Watanabe und Yoshinori Teshima. “Development of Tactile Graphics Production Software for Three-Dimensional Projections”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 541–547. ISBN: 978-3-642-14100-3. DOI: [10.1007/978-3-642-14100-3\\_81](#) (siehe S. 45, 61, 90, 91, 106, 110, 114, 123).

- [Gar02] John A. Gardner. "Access by Blind Students and Professionals to Mainstream Math and Science". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus und Wolfgang Zagler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002, S. 502–507. ISBN: 978-3-540-45491-5. DOI: [10.1007/3-540-45491-8\\_94](https://doi.org/10.1007/3-540-45491-8_94) (siehe S. 82, 91, 106, 114).
- [GB04] John A. Gardner und Vladimir Bulatov. "Directly Accessible Mainstream Graphical Information". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Dominique Burger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 739–744. ISBN: 978-3-540-27817-7. DOI: [10.1007/978-3-540-27817-7\\_110](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_110) (siehe S. 83).
- [GB06] John A. Gardner und Vladimir Bulatov. "Scientific Diagrams Made Easy with IVEO". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Arthur I. Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 1243–1250. ISBN: 978-3-540-36021-6. DOI: [10.1007/11788713\\_1](https://doi.org/10.1007/11788713_1) (siehe S. 68, 83).
- [GUB06] John A. Gardner, Leon Ungier und John J. Boyer. "Braille Math Made Easy with the Tiger Formatter". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Arthur I. Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 1215–1222. ISBN: 978-3-540-36021-6. DOI: [10.1007/11788713\\_175](https://doi.org/10.1007/11788713_175) (siehe S. 41).
- [Gav89] William W. Gaver. "The SonicFinder: An Interface That Uses Auditory Icons". In: *Human-Computer Interaction 4.1* (1989), S. 67–94. DOI: [10.1207/s15327051hci0401\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327051hci0401_3) (siehe S. 21).
- [Gib62] James J. Gibson. "Observations on active touch". In: *Psychological Review* 69.6 (Nov. 1962), S. 477–491. DOI: [10.1037/h0046962](https://doi.org/10.1037/h0046962) (siehe S. 17).
- [GP14] Timo Götzelmann und Aleksander Pavkovic. "Towards Automatically Generated Tactile Detail Maps by 3D Printers for Blind Persons". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Paris, France: Springer International Publishing, Juli 2014, S. 1–7. ISBN: 978-3-319-08599-9. DOI: [10.1007/978-3-319-08599-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08599-9_1) (siehe S. 43).
- [Gou+07] Cédric Gouy-Pailler, Sophie Zipp-Rouzier, Sylvie Vidal und Denis Chêne. "A Haptic Based Interface to Ease Visually Impaired Pupils' Inclusion in Geometry Lessons". In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services*. Hrsg. von Constantine Stephanidis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, S. 598–606. ISBN: 978-3-540-73283-9. DOI: [10.1007/978-3-540-73283-9\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73283-9_66) (siehe S. 25–27, 102, 106, 114).
- [GB94] Paolo Graziani und Bruno Breschi. "Screen reader for Windows based on speech output". In: *Computers for Handicapped Persons*. Hrsg. von Wolfgang L. Zagler, Geoffrey Busby und Roland R. Wagner. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1994, S. 96–100. ISBN: 978-3-540-48989-4. DOI: [10.1007/3-540-58476-5\\_110](https://doi.org/10.1007/3-540-58476-5_110) (siehe S. 30).
- [Gre17] Luitpold Greiner. "Tactile display having a magnetically bistable axially symmetrical linear actuator having a pole contour and switching matrix, and optical-tactile seeing aid having same". Dt. Pat. WO2018197052A1. 2017 (siehe S. 281).
- [Gru15] William Grussenmeyer. "Draw and Drag: Accessible Touchscreen Geometry for Students Who Are Blind". In: *SIGACCESS Access. Comput.* 111 (2015), S. 10–13. ISSN: 1558-2337. DOI: [10.1145/2809904.2809907](https://doi.org/10.1145/2809904.2809907) (siehe S. 93, 106, 110, 111, 114).
- [GF16] William Grussenmeyer und Eelke Folmer. "AudioDraw: User Preferences in Non-visual Diagram Drawing for Touchscreens". In: *Proceedings of the 13th Web for All Conference. W4A '16*. Montreal, Canada: ACM, 2016, 22:1–22:8. ISBN: 978-1-4503-4138-7. DOI: [10.1145/2899475.2899483](https://doi.org/10.1145/2899475.2899483) (siehe S. 6, 75, 93, 106, 108, 110–112, 114).
- [GG15] João Guerreiro und Daniel Gonçalves. "Faster Text-to-Speeches: Enhancing Blind People's Information Scanning with Faster Concurrent Speech". In: *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers' Accessibility. ASSETS '15*. Lisbon, Portugal: ACM, Okt. 2015, S. 3–11. ISBN: 978-1-4503-3400-6. DOI: [10.1145/2700648.2809840](https://doi.org/10.1145/2700648.2809840) (siehe S. 21, 22).
- [GA92] Sujoy K. Guha und Sneh Anand. "Computer as a group teaching aid for persons who are blind". In: *Journal of Rehabilitation Research and Development* 29.3 (1992), S. 57–63. DOI: [10.1682/JRRD.1992.07.0057](https://doi.org/10.1682/JRRD.1992.07.0057) (siehe S. 47, 85).
- [Han06] Hermann O. Handwerker. "Neuro- und Sinnesphysiologie". In: *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Hrsg. von Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. Kap. Somatosensorik, S. 203–228. ISBN: 978-3-540-29491-7. DOI: [10.1007/3-540-29491-0\\_8](https://doi.org/10.1007/3-540-29491-0_8) (siehe S. 17).
- [HS88] Sandra G. Hart und Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research". In: *Advances in Psychology* 52 (1988), S. 139–183. DOI: [10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9) (siehe S. 208).

- [Har12] Deborah Harty. "Drawing through touch: A phenomenological approach". In: *Drawing Out 2012*. University of the Arts, Chelsea, London, UK, Mai 2012, S. 1–6. URL: <https://hdl.handle.net/2134/18260> (siehe S. 70, 71, 74, 76).
- [HG08] Yvette Hatwell und Edouard Gentaz. "Early psychological studies on touch in France". In: *Human Haptic Perception: Basics and Applications*. Hrsg. von Martin Grunwald. Basel: Birkhäuser Basel, 2008. Kap. Epistemological and historical aspects, S. 55–66. ISBN: 978-3-7643-7612-3. DOI: **10.1007/978-3-7643-7612-3\_4** (siehe S. 37, 39).
- [HP10a] Patrick C. Headley und Dianne T. V. Pawluk. "A Low-cost, Variable-amplitude Haptic Distributed Display for Persons Who Are Blind and Visually Impaired". In: *Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ASSETS '10. Orlando, Florida, USA: ACM, 2010, S. 227–228. ISBN: 978-1-60558-881-0. DOI: **10.1145/1878803.1878844** (siehe S. 50, 100).
- [HP10b] Patrick C. Headley und Dianne T. V. Pawluk. "A Multimodal, Computer-based Drawing System for Persons Who Are Blind and Visually Impaired". In: *Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ASSETS '10. Orlando, Florida, USA: ACM, 2010, S. 229–230. ISBN: 978-1-60558-881-0. DOI: **10.1145/1878803.1878845** (siehe S. 5, 100, 106, 107, 109–112, 114).
- [Hel89] Morton A. Heller. "Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind: The Advantage of the Late Blind". In: *Perception* 18.3 (Juni 1989), S. 379–389. ISSN: 0301-0066. DOI: **10.1068/p180379** (siehe S. 71).
- [Hel+02] Morton A. Heller, Deneen D. Brackett, Eric Scroggs, Heather Steffen, Kim Heatherly und Shana Salik. "Tangible pictures: viewpoint effects and linear perspective in visually impaired people". In: *Perception* 31.6 (2002), S. 747–769. ISSN: 0301-0066. DOI: **10.1068/p3253** (siehe S. 123).
- [HKJ95] Morton A. Heller, John M. Kennedy und Tamala D. Joyner. "Production and interpretation of pictures of houses by blind people". In: *Perception* 24.9 (Sep. 1995), S. 1049–1058. DOI: **10.1068/p241049** (siehe S. 71, 72).
- [HS91] Morton A. Heller und William Schiff. *The Psychology of touch*. Hillsdale, NJ, USA [u.a.]: Erlbaum, 1991. ISBN: 0805807500 (siehe S. 17).
- [Heu+98] Richard Heuer gen. Hallmann, Ernst-Dietrich Lorenz, Günther Meier, Thomas Schwyter, Wolfgang A. Slaby und Christian Waldvogel. *Marburger Systematiken der Blindenschrift – Teil 1: Das System der deutschen Blindenschrift*. Hrsg. von Brailleschriftkommission der deutschsprachigen Länder. 4. Schweizerische Bibliothek für Blinde und Sehbehinderte, Zürich, Jan. 1998. ISBN: 3-89642-022-4. URL: [https://www.pharmabraille.com/wp-content/uploads/2015/01/system\\_d\\_blindenschrift\\_7620.pdf](https://www.pharmabraille.com/wp-content/uploads/2015/01/system_d_blindenschrift_7620.pdf) (siehe S. 38, 39).
- [Hin91] Ronald Hinton. "First introduction to tactiles". In: *British Journal of Visual Impairment* 9.3 (Nov. 1991), S. 79–82. DOI: **10.1177/026461969100900304** (siehe S. 18).
- [HIS09] Takayuki Hoshi, Takayuki Iwamoto und Hiroyuki Shinoda. "Non-contact tactile sensation synthesized by ultrasound transducers". In: *World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. März 2009, S. 256–260. DOI: **10.1109/WHC.2009.4810900** (siehe S. 48).
- [HS16] Takayuki Hoshi und Hiroyuki Shinoda. "Pervasive Haptics – Science, Design, and Application". In: Hrsg. von Hiroyuki Kajimoto, Satoshi Saga und Masashi Konyo. Springer Japan, 2016. Kap. Chapter 8: Airborne Ultrasound Tactile Display, S. 121–138. ISBN: 978-4-431-55771-5. DOI: **10.1007/978-4-431-55772-2\_8** (siehe S. 48).
- [Hu15] Michele Hu. "Exploring New Paradigms for Accessible 3D Printed Graphs". In: *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*. ASSETS '15. Lisbon, Portugal: ACM, 2015, S. 365–366. ISBN: 978-1-4503-3400-6. DOI: **10.1145/2700648.2811330** (siehe S. 43).
- [ISO9241-21010] ISO (the International Organization for Standardization). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010)*. Standard ISO9241-210. ISO 9241-210:2010. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2010 (siehe S. 8, 15).
- [ISO13] ISO/TC 122 Verpackung. *ISO 17351 (2013-01-00): Verpackung - Blindenschrift auf Arzneimittelverpackungen*. Techn. Ber. ISO – International Organization for Standardization, Sep. 2013 (siehe S. 38).
- [IS06] Takayuki Iwamoto und Hiroyuki Shinoda. "Two-dimensional Scanning Tactile Display using Ultrasound Radiation Pressure". In: *2006 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. März 2006, S. 57–61. DOI: **10.1109/HAPTIC.2006.1627070** (siehe S. 48).
- [ITS08] Takayuki Iwamoto, Mari Tatzono und Hiroyuki Shinoda. "Non-contact Method for Producing Tactile Sensation Using Airborne Ultrasound". In: *Haptics: Perception, Devices and Scenarios*. Hrsg. von Manuel Ferre. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 504–513. ISBN: 978-3-540-69057-3. DOI: **10.1007/978-3-540-69057-3\_64** (siehe S. 48).

- [Iwa+01] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, Fumitaka Nakaizumi und Ryo Kawamura. "Project FEELEX: Adding Haptic Surface to Graphics". In: *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. SIGGRAPH '01. New York, NY, USA: ACM, 2001, S. 469–476. ISBN: 1-58113-374-X. DOI: [10.1145/383259.383314](https://doi.org/10.1145/383259.383314) (siehe S. 49).
- [Jac91] Robert J. K. Jacob. "The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get". In: *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* 9.2 (Apr. 1991), S. 152–169. ISSN: 1046-8188. DOI: [10.1145/123078.128728](https://doi.org/10.1145/123078.128728) (siehe S. 24).
- [JA18] Faiza Jalil und Faisal Anis. "Preferences of Students with Visual Impairment between Braille and Screen Reader's Software". In: *Journal of Inclusive Education* 2.1 (2018), S. 63–76. ISSN: 2523-5710. DOI: [10.1177/001440296202900306](https://doi.org/10.1177/001440296202900306) (siehe S. 21, 40).
- [Jan00] Gunnar Jansson. "Basic issues concerning visually impaired peoples use of haptic displays". In: *The 3rd International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*. Alghero, Sardinia, Italy, Sep. 2000. URL: [https://www.researchgate.net/profile/PM\\_Sharkey/publication/260854072\\_Proceedings\\_of\\_the\\_3rd\\_International\\_Conference\\_on\\_Disability\\_Virtual\\_Reality\\_and\\_Associated\\_Technologies\\_ICDVRAT\\_2000/links/02e7e5328326bd2425000000.pdf#page=63](https://www.researchgate.net/profile/PM_Sharkey/publication/260854072_Proceedings_of_the_3rd_International_Conference_on_Disability_Virtual_Reality_and_Associated_Technologies_ICDVRAT_2000/links/02e7e5328326bd2425000000.pdf#page=63) (siehe S. 84).
- [JP05] Gunnar Jansson und Patrik Pedersen. "Obtaining geographical information from a virtual map with a haptic mouse". In: *XXII International Cartographic Conference (ICC2005)*. The International Cartographic Association (ICA-ACI). A Coruna, Spain, Juli 2005. URL: <http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA22/Session%202/GUNNAR%20JANSSON.pdf> (siehe S. 50).
- [Jay+08] Caroline Jay, Robert Stevens, Roger Hubbard und Mashhuda Glencross. "Using Haptic Cues to Aid Nonvisual Structure Recognition". In: *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)* 5.2 (Mai 2008). Zuletzt besucht: August 2019, 8:1–8:14. ISSN: 1544-3558. DOI: [10.1145/1279920.1279922](https://doi.org/10.1145/1279920.1279922) (siehe S. 82).
- [Jay+07] Chandrika Jayant, Matt Renzelmann, Dana Wen, Satria Krisnandi, Richard Ladner und Dan Comden. "Automated Tactile Graphics Translation: In the Field". In: *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '07. Tempe, Arizona, USA: ACM, 2007, S. 75–82. ISBN: 978-1-59593-573-1. DOI: [10.1145/1296843.1296858](https://doi.org/10.1145/1296843.1296858) (siehe S. 68).
- [JK01] Klaus-Jürgen Jentzsch und Joachim Kurt. *Anleitung zum Entwerfen taktiler Grafiken für Blinde mit Corel Draw (2. Auflage)*. Zuletzt bezogen: Jun 2016. Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Rehabilitationswissenschaften, 2001. URL: <http://www.reha.hu-berlin.de/rehatech/taktil/Anleitung.pdf> (siehe S. 122, 124).
- [KB95] Kurt A. Kaczmarek und Paul Bach-Y-Rita. "Virtual Environments and Advanced Interface Design". In: Hrsg. von Woodrow Barfield und Thomas A. Furnes III. NY, USA: Oxford University Press, 1995. Kap. Haptic Displays – Chapter 9: Tactile Displays, S. 349–414. ISBN: 0-19-507555-2 (siehe S. 17).
- [KL96] Thomas Kahlisch und Jürgen Löttsch. "Services for the Blind and Partially Sighted in Germany". In: *Congress on Rehabilitation of the Disabled*. Dubai, United Arab Emirates, 1996. URL: <http://www.kahlisch.de/pub/dubai.html> (siehe S. 40).
- [KL00] Hesham M. Kamel und James A. Landay. "A Study of Blind Drawing Practice: Creating Graphical Information Without the Visual Channel". In: *Proceedings of the Fourth International ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '00. Arlington, Virginia, USA: ACM, 2000, S. 34–41. ISBN: 1-58113-313-8. DOI: [10.1145/354324.354334](https://doi.org/10.1145/354324.354334) (siehe S. 6, 9, 28, 75, 82, 106, 110–114).
- [KL02a] Hesham M. Kamel und James A. Landay. "Constructing Moving Pictures Eyes-free: An Animation Tool for the Blind". In: *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '02. Minneapolis, Minnesota, USA: ACM, 2002, S. 772–773. ISBN: 1-58113-454-1. DOI: [10.1145/506443.506590](https://doi.org/10.1145/506443.506590) (siehe S. 98).
- [KL02b] Hesham M. Kamel und James A. Landay. "Sketching Images Eyes-free: A Grid-based Dynamic Drawing Tool for the Blind". In: *Proceedings of the Fifth International ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '02. Edinburgh, Scotland: ACM, 2002, S. 33–40. ISBN: 1-58113-464-9. DOI: [10.1145/638249.638258](https://doi.org/10.1145/638249.638258) (siehe S. 98).
- [KL99] Hesham M. Kamel und James A. Landay. "The integrated communication 2 draw (IC2D): a drawing program for the visually impaired". In: *CHI'99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM. Pittsburgh, Pennsylvania, USA: ACM, Mai 1999, S. 222–223. DOI: [10.1145/632716.632854](https://doi.org/10.1145/632716.632854) (siehe S. 82, 97, 106, 110, 114).
- [KL01] Hesham M. Kamel und James A. Landay. "The Use of Labeling to Communicate Detailed Graphics in a Non-visual Environment". In: *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '01. Seattle, Washington: ACM, 2001, S. 243–244. ISBN: 1-58113-340-5. DOI: [10.1145/634067.634212](https://doi.org/10.1145/634067.634212) (siehe S. 60, 98).

- [KWL11] Shaun K. Kane, Jacob O. Wobbrock und Richard E. Ladner. "Usable Gestures for Blind People: Understanding Preference and Performance". In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '11. Vancouver, BC, Canada: ACM, 2011, S. 413–422. ISBN: 978-1-4503-0228-9. DOI: [10.1145/1978942.1979001](https://doi.org/10.1145/1978942.1979001) (siehe S. 25, 26).
- [Ken93] John M. Kennedy. *Drawing & the Blind : Pictures to Touch*. New Haven, CT, US: Yale University Press, 1993. ISBN: 0300054904 (siehe S. 2, 5, 17, 18, 47, 70–76, 123, 124, 133).
- [Ken03] John M. Kennedy. "Drawings from Gaia, a Blind Girl". In: *Perception* 32.3 (März 2003), S. 321–340. DOI: [10.1068/p3436](https://doi.org/10.1068/p3436) (siehe S. 73, 74).
- [Ken97] John M. Kennedy. "How the Blind Draw". In: *Scientific American* 276.1 (Jan. 1997), S. 76–81. ISSN: 00368733, 19467087. URL: <http://www.jstor.org/stable/24993567> (siehe S. 74).
- [Ken14] John M. Kennedy. "Tactile drawing aesthetics and a blind woman's drawings of sounds". In: *British Journal of Visual Impairment* 32.1 (Jan. 2014), S. 33–43. DOI: [10.1177/0264619613512838](https://doi.org/10.1177/0264619613512838) (siehe S. 70, 71).
- [KGN91] John M. Kennedy, Paul Gabias und Andrea Nicholls. "Tactile pictures". In: Hrsg. von Morton A. Heller. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1991. Kap. 11, S. 263–299. ISBN: 0805807500 (siehe S. 18).
- [KJ06] John M. Kennedy und Igor Juricevic. "Blind man draws using diminution in three dimensions". In: *Psychonomic Bulletin & Review* 13.3 (Juni 2006), S. 506–509. ISSN: 1531-5320. DOI: [10.3758/BF03193877](https://doi.org/10.3758/BF03193877) (siehe S. 70–72).
- [KJ03] John M. Kennedy und Igor Juricevic. "Haptics and Projection: Drawings by Tracy, a Blind Adult". In: *Perception* 32.9 (Sep. 2003), S. 1059–1071. DOI: [10.1068/p3425](https://doi.org/10.1068/p3425) (siehe S. 71, 74).
- [Ken96] Andrea R. Kennel. "Audiograf: A Diagram-reader for the Blind". In: *Proceedings of the Second Annual ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '96. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM, 1996, S. 51–56. ISBN: 0-89791-776-6. DOI: [10.1145/228347.228357](https://doi.org/10.1145/228347.228357) (siehe S. 82).
- [KGS02] KGS Corporation. *Datenblatt Dot View DV-1*. Techn. Ber. Auf Japanisch. Ogawa (Saitama), Japan: KGS Corporation, Nov. 2002. URL: <https://www.kgs-jpn.co.jp> (siehe S. 280).
- [KGS11a] KGS Corporation. *Datenblatt Dot View DV-2*. Techn. Ber. Auf Japanisch. Ogawa (Saitama), Japan: KGS Corporation, Nov. 2011. URL: <https://www.kgs-jpn.co.jp> (siehe S. 54).
- [KGS11b] KGS Corporation. *Handbuch Dot View DV-2 Vers. 1.0*. Techn. Ber. Auf Japanisch. Ogawa (Saitama), Japan: KGS Corporation, Nov. 2011. URL: <https://www.kgs-jpn.co.jp> (siehe S. 54).
- [Kho11] Maha Khochen. "Reading through touch, importance and challenges". In: *World Congress Braille* 21. Leipzig, Germany: German Central Library for the Blind (DZB), Sep. 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/258265976\\_Reading\\_through\\_touch\\_importance\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/258265976_Reading_through_touch_importance_and_challenges) (siehe S. 40).
- [KB06] Johan Kildal und Stephen A. Brewster. "Vibro-Tactile External Memory Aids in Non-Visual Browsing of Tabular Data". In: *First International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design (HAID06) - Posters*. Hrsg. von David McGookin und Stephen A. Brewster. Bd. 2. University of Glasgow, UK, Sep. 2006, S. 40–43. URL: [http://www.dcs.gla.ac.uk/~stephen/papers/HAID2006\\_kildal.pdf](http://www.dcs.gla.ac.uk/~stephen/papers/HAID2006_kildal.pdf) (siehe S. 47, 50).
- [Kim+09] Seung-Chan Kim, Chong-Hui Kim, Gi-Hun Yang, Tae-Heon Yang, Byung-Ki Han, Sung-Chul Kang und Dong-Soo Kwon. "Small and lightweight tactile display (SaLT) and its application". In: *World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. März 2009, S. 69–74. DOI: [10.1109/WHC.2009.4810820](https://doi.org/10.1109/WHC.2009.4810820) (siehe S. 50).
- [Kin+04] Alasdair King, Paul Blenkhorn, David Crombie, Sijo Dijkstra, Gareth Evans und John Wood. "Presenting UML Software Engineering Diagrams to Blind People". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Dominique Burger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 522–529. ISBN: 978-3-540-27817-7. DOI: [10.1007/978-3-540-27817-7\\_76](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_76) (siehe S. 84).
- [Kin+08] Chih-Hung King, Martin O. Culjat, Miguel L. Franco, James W. Bisley, Erik Dutson und Warren S. Grundfest. "Optimization of a Pneumatic Balloon Tactile Display for Robot-Assisted Surgery Based on Human Perception". In: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 55.11 (Nov. 2008), S. 2593–2600. ISSN: 0018-9294. DOI: [10.1109/TBME.2008.2001137](https://doi.org/10.1109/TBME.2008.2001137) (siehe S. 50).
- [KRF07] David Kirk, Tom Rodden und Danaë Stanton Fraser. "Turn It This Way: Grounding Collaborative Action with Remote Gestures". In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '07. San Jose, California, USA: ACM, 2007, S. 1039–1048. ISBN: 978-1-59593-593-9. DOI: [10.1145/1240624.1240782](https://doi.org/10.1145/1240624.1240782) (siehe S. 32).
- [KW02] Makoto Kobayashi und Tetsuya Watanabe. "A Tactile Display System Equipped with a Pointing Device – MIMIZU". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus und Wolfgang Zagler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002, S. 527–534. ISBN: 978-3-540-45491-5. DOI: [10.1007/3-540-45491-8\\_100](https://doi.org/10.1007/3-540-45491-8_100) (siehe S. 100, 106, 111, 114, 191, 280).

- [KW04] Makoto Kobayashi und Tetsuya Watanabe. "Communication System for the Blind Using Tactile Displays and Ultrasonic Pens – MIMIZU". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Dominique Burger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 731–738. ISBN: 978-3-540-27817-7. DOI: [10.1007/978-3-540-27817-7\\_109](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_109) (siehe S. 31, 100, 101, 106, 114).
- [Koc94] Dirk Kochanek. "Designing an offscreen model for a GUI". In: *Computers for Handicapped Persons*. Hrsg. von Wolfgang L. Zagler, Geoffrey Busby und Roland R. Wagner. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1994, S. 89–95. ISBN: 978-3-540-48989-4. DOI: [10.1007/3-540-58476-5\\_109](https://doi.org/10.1007/3-540-58476-5_109) (siehe S. 28–30).
- [Köh16] Wiebke Köhlmann. "Zugänglichkeit virtueller Klassenzimmer für Blinde". ISBN: 978-3-8325-4273-3. Diss. Universität Potsdam, Mai 2016. URL: <https://d-nb.info/1107070953/34> (siehe S. 31, 32, 236).
- [Kok87] Kenneth J. Kokjer. "The Information Capacity of the Human Fingertip". In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 17.1 (Jan. 1987), S. 100–102. ISSN: 0018-9472. DOI: [10.1109/TSMC.1987.289337](https://doi.org/10.1109/TSMC.1987.289337) (siehe S. 17).
- [Kon+15] Papadopoulos Konstantinos, Koukourikos Panagiotis, Koustriava Eleni, Misiou Marina, Varveris Asimis und Elena Valari. "Audio-Haptic Map: An Orientation and Mobility Aid for Individuals with Blindness". In: *Procedia Computer Science* 67 (2015), S. 223–230. ISSN: 1877-0509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.266> (siehe S. 84).
- [KTT00] Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro und Toshi Takamori. "Artificial tactile feel display using soft gel actuators". In: *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065)*. Bd. 4. Apr. 2000, S. 3416–3421. DOI: [10.1109/ROBOT.2000.845250](https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.845250) (siehe S. 50).
- [Koo+08] Ig Mo Koo, Kwangmok Jung, Ja Choon Koo, Jae-Do Nam, Young Kwan Lee und Hyoun Ryeol Choi. "Development of Soft-Actuator-Based Wearable Tactile Display". In: *IEEE Transactions on Robotics* 24.3 (Juni 2008), S. 549–558. ISSN: 1552-3098. DOI: [10.1109/TRO.2008.921561](https://doi.org/10.1109/TRO.2008.921561) (siehe S. 50).
- [Kos94] Stephen Michael Kosslyn. *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge, Mass., USA [u.a.]: MIT Press, 1994. ISBN: 0-262-11184-5. URL: [https://www.researchgate.net/publication/30871774\\_Image\\_and\\_Brain\\_The\\_Resolution\\_of\\_the\\_Imagery\\_Debate](https://www.researchgate.net/publication/30871774_Image_and_Brain_The_Resolution_of_the_Imagery_Debate) (siehe S. 18).
- [Koz10] Olga Kozar. "Towards Better Group Work: Seeing the Difference between Cooperation and Collaboration". In: *English Teaching Forum* 48.2 (2010), S. 16–23. ISSN: 1559-663X (siehe S. 31, 34).
- [KVV08] Michael Kraus, Thorsten Völkel und Gerhard Weber. "An Off-Screen Model for Tactile Graphical User Interfaces". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 865–872. ISBN: 978-3-540-70540-6. DOI: [10.1007/978-3-540-70540-6\\_128](https://doi.org/10.1007/978-3-540-70540-6_128) (siehe S. 30, 86, 162).
- [Kri18] Klaus Krippendorff. "Content Analysis: An Introduction to Its Methodology". In: Hrsg. von Terri Accomazzo, Andrew Olsen und Michelle Ponce. Fourth. Sage Publications, 2018. Kap. Chapter 12 – Reliability, S. 277–360. ISBN: 9781506395661 (siehe S. 216).
- [Kur98] Martin Kurze. "Methoden zur computergenerierten Darstellung räumlicher Gegenstände für Blinde auf taktilen Medien". Diss. Berlin, Germany: Freie Universität Berlin, Juli 1998. URL: <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/2978> (siehe S. 82, 103, 278).
- [Kur96] Martin Kurze. "TDraw: A Computer-based Tactile Drawing Tool for Blind People". In: *Proceedings of the Second Annual ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '96. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM, Apr. 1996, S. 131–138. ISBN: 0-89791-776-6. DOI: [10.1145/228347.228368](https://doi.org/10.1145/228347.228368) (siehe S. 6, 72, 75, 103, 106, 109, 111–114).
- [Lad+05] Richard E. Ladner, Melody Y. Ivory, Rajesh Rao, Sheryl Burgstahler, Dan Comden, Sangyun Hahn, Matthew Renzelmann, Satria Krisnandi, Mahalakshmi Ramasamy, Beverly Slabosky, Andrew Martin, Amelia Lacenski, Stuart Olsen und Dmitri Groce. "Automating Tactile Graphics Translation". In: *Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '05. Baltimore, MD, USA: ACM, 2005, S. 150–157. ISBN: 1-59593-159-7. DOI: [10.1145/1090785.1090814](https://doi.org/10.1145/1090785.1090814) (siehe S. 68, 120).
- [LM08] Orly Lahav und David Mioduser. "Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind". In: *International Journal of Human-Computer Studies* 66.1 (2008), S. 23–35. ISSN: 1071-5819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.08.001> (siehe S. 48, 84).
- [LG01] Steven Landau und Karen Gourgey. "Development of a talking tactile tablet". In: *Information Technology and Disabilities* 7.2 (Apr. 2001). URL: <http://itd.athenpro.org/volume7/number2/tablet.html> (siehe S. 68, 83, 96).



- [LW03] Steven Landau und Lesley Wells. “Merging tactile sensory input and audio data by means of the Talking Tactile Tablet”. In: *Proceedings of EuroHaptics*. Bd. 3. 2003, S. 414–418. URL: <http://www.touchgraphics.com/publications/eurohaptics-paper.pdf> (siehe S. 83, 84).
- [LK77] J. Richard Landis und Gary G. Koch. “The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data”. In: *Biometrics* 33.1 (März 1977), S. 159–174. ISSN: 0006341X, 15410420. DOI: [10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310) (siehe S. 216).
- [LS87] Jill H. Larkin und Herbert A. Simon. “Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words”. In: *Cognitive Science* 11.1 (1987), S. 65–100. ISSN: 0364-0213. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(87\)80026-5](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(87)80026-5) (siehe S. 32).
- [Lei+11] Daniel Leithinger, David Lakatos, Anthony DeVincenzi, Matthew Blackshaw und Hiroshi Ishii. “Direct and Gestural Interaction with Relief: A 2.5D Shape Display”. In: *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST ’11. Santa Barbara, California, USA: ACM, Okt. 2011, S. 541–548. ISBN: 978-1-4503-0716-1. DOI: [10.1145/2047196.2047268](https://doi.org/10.1145/2047196.2047268) (siehe S. 49).
- [Lév+12] V. Lévesque, G. Petit, A. Dufresne und V. Hayward. “Adaptive level of detail in dynamic, refreshable tactile graphics”. In: *2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*. März 2012, S. 1–5. DOI: [10.1109/HAPTIC.2012.6183752](https://doi.org/10.1109/HAPTIC.2012.6183752) (siehe S. 50, 51, 84).
- [LH10] Vincent Lévesque und Vincent Hayward. “Laterotactile Rendering of Vector Graphics with the Stroke Pattern”. In: *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations*. Hrsg. von Astrid M. L. Kappers, Jan B. F. van Erp, Wouter M. Bergmann Tiest und Frans C. T. van der Helm. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 25–30. ISBN: 978-3-642-14075-4. DOI: [10.1007/978-3-642-14075-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14075-4_4) (siehe S. 84).
- [Li+19] Jingyi Li, Son Kim, Joshua A. Miele, Maneesh Agrawala und Sean Follmer. “Editing Spatial Layouts Through Tactile Templates for People with Visual Impairments”. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI ’19. Glasgow, Scotland Uk: ACM, 2019, 206:1–206:11. ISBN: 978-1-4503-5970-2. DOI: [10.1145/3290605.3300436](https://doi.org/10.1145/3290605.3300436) (siehe S. 84).
- [Loh97] Gerald Lee Lohse. “Chapter 6 – Models of Graphical Perception”. In: *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)*. Hrsg. von Marting G. Helander, Thomas K. Landauer und Prasad V. Prabhu. Second Edition. Amsterdam: North-Holland, 1997, S. 107–135. ISBN: 978-0-444-81862-1. DOI: [10.1016/B978-0-444-81862-1.50072-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81862-1.50072-8) (siehe S. 2, 33).
- [LL86] Jack M. Loomis und Susan J. Lederman. “Handbook of Perception and Human Performances”. In: Hrsg. von Kenneth R. Boff, Lloyd Kaufman und James P. Thomas. Bd. 2. 2. NY, USA: Wiley-Interscience Publication, 1986. Kap. Chapter 31 – Tactual perception, S. 31-1–31-41. ISBN: 0471829560 (siehe S. 17).
- [Löt94] Jürgen Löttsch. “Computer-aided access to tactile graphics for the blind”. In: *Computers for Handicapped Persons*. Hrsg. von Wolfgang L. Zagler, Geoffrey Busby und Roland R. Wagner. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1994, S. 575–581. ISBN: 978-3-540-48989-4. DOI: [10.1007/3-540-58476-5\\_188](https://doi.org/10.1007/3-540-58476-5_188) (siehe S. 40, 84).
- [LG15] Vikas Luthra und Sanjay Ghosh. “Understanding, Evaluating and Analyzing Touch Screen Gestures for Visually Impaired Users in Mobile Environment”. In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Access to Interaction*. Hrsg. von Margherita Antona und Constantine Stephanidis. Springer International Publishing, Juli 2015, S. 25–36. ISBN: 978-3-319-20681-3. DOI: [10.1007/978-3-319-20681-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20681-3_3) (siehe S. 25, 26).
- [MDR06] Charlotte Magnusson, Henrik Danielsson und Kirsten Rassmus-Gröhn. “Non Visual Haptic Audio Tools for Virtual Environments”. In: *Haptic and Audio Interaction Design*. Hrsg. von David McGookin und Stephen Brewster. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 111–120. ISBN: 978-3-540-37596-8. DOI: [10.1007/11821731\\_11](https://doi.org/10.1007/11821731_11) (siehe S. 48).
- [MPM12] Muhanad S. Manshad, Enrico Pontelli und Shakir J. Manshad. “Trackable Interactive Multimodal Manipulatives: Towards a Tangible User Environment for the Blind”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Arthur Karshmer, Petr Penaz und Wolfgang Zagler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 664–671. ISBN: 978-3-642-31534-3. DOI: [10.1007/978-3-642-31534-3\\_97](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31534-3_97) (siehe S. 48, 63, 105, 106, 114).
- [MK13] Astrid Maritzen und Norbert Kamps. *Rehabilitation bei Sehbehinderung und Blindheit*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. ISBN: 978-3-642-29868-4. DOI: [10.1007/978-3-642-29869-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29869-1) (siehe S. 53).
- [MT17] Yuji Masaki und Noboru Takagi. “Prototype development of interactive tactile graphics editor with latex and participant’s experience in using the editor”. In: *2017 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology (ICIEV-ISCMT)*. Himeji, Japan: IEEE, Sep. 2017, S. 1–5. DOI: [10.1109/ICIEV.2017.8338572](https://doi.org/10.1109/ICIEV.2017.8338572) (siehe S. 51).

- [MLS09] Marc Matysek, Peter Lotz und Helmut F. Schlaak. "Tactile display with dielectric multilayer elastomer actuators". In: *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)*. Bd. 7287. Apr. 2009, S. 1–10. DOI: [10.1117/12.819217](https://doi.org/10.1117/12.819217) (siehe S. 50).
- [MG90] Richard E. Mayer und Joan K. Gallini. "When is an illustration worth ten thousand words?" In: *Journal of Educational Psychology* 82.4 (Dez. 1990), S. 715–726 (siehe S. 2).
- [MB06] David K. McGookin und Stephen A. Brewster. "MultiVis: Improving Access to Visualisations for Visually Impaired People". In: *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '06. Montreal, Quebec, Canada: ACM, 2006, S. 267–270. ISBN: 1-59593-298-4. DOI: [10.1145/1125451.1125509](https://doi.org/10.1145/1125451.1125509) (siehe S. 5, 31, 63, 84, 94, 106, 114).
- [MBB07] David McGookin, Stephen Brewster und Stephen Brewster. "An Initial Investigation into Non-visual Computer Supported Collaboration". In: *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '07. San Jose, CA, USA: ACM, 2007, S. 2573–2578. ISBN: 978-1-59593-642-4. DOI: [10.1145/1240866.1241043](https://doi.org/10.1145/1240866.1241043) (siehe S. 33–35).
- [MRB10] David McGookin, Euan Robertson und Stephen Brewster. "Clutching at Straws: Using Tangible Interaction to Provide Non-visual Access to Graphs". In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '10. Atlanta, Georgia, USA: ACM, 2010, S. 1715–1724. ISBN: 978-1-60558-929-9. DOI: [10.1145/1753326.1753583](https://doi.org/10.1145/1753326.1753583) (siehe S. 75, 105, 106, 112, 114).
- [MBS08] Oussama Metatla, Nick Bryan-Kinns und Tony Stockman. "Comparing Interaction Strategies for Constructing Diagrams in an Audio-only Interface". In: *Proceedings of the 22Nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction*. Bd. 2. BCS-HCI '08. Liverpool, United Kingdom: BCS Learning & Development Ltd., 2008, S. 65–69. ISBN: 978-1-906124-06-9. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1531826.1531843> (siehe S. 82, 95, 106, 114, 217).
- [met16a] metec. *Hyperflat Flyer*. Techn. Ber. Abgerufen Oktober 2019. Stuttgart, Germany: metec Ingenieur-AG, Mai 2016. URL: <https://web.metec-ag.de/downloads/hyperflat-flyer-komplett.pdf> (siehe S. 55).
- [met18] metec. *Technische Daten – Display HyperBraille F*. Techn. Ber. Abgerufen Oktober 2019. Stuttgart, Germany: metec Ingenieur-AG, Mai 2018. URL: <https://web.metec-ag.de/downloads/hyperbraille-f.pdf> (siehe S. 279).
- [MLG06] Joshua A. Miele, Steven Landau und Deborah Gilden. "Talking TMAP: Automated generation of audio-tactile maps using Smith-Kettlewell's TMAP software". In: *British Journal of Visual Impairment* 24.2 (2006), S. 93–100. DOI: [10.1177/0264619606064436](https://doi.org/10.1177/0264619606064436) (siehe S. 83).
- [Mil94] Carolyn Miles. "Tactile Drawings: A Proofreader's Perspective". In: *Future Reflections – The National Federation of the Blind, Magazine for Parents and Teachers of Blind Children* 13.3 (1994). ISSN: 0883-3419. URL: <https://www.nfb.org/images/nfb/publications/fr/fr13/issue3/fr130309.html> (siehe S. 4, 5, 7, 18, 78).
- [Mil91] Susanna Millar. "The Psychology of Touch". In: Hrsg. von Morton A. Heller und Willimam Schiff. Psychology Press, 1991. Kap. Chapter 12 – A Reverse Lag in the Recognition and Production of Tactual Drawings: Theoretical Implications for Haptic Coding, S. 301–327. ISBN: 0-8058-0750-0 (siehe S. 76).
- [MP13] Jonas Moll und Eva-Lotta Sallnäs Pysander. "A Haptic Tool for Group Work on Geometrical Concepts Engaging Blind and Sighted Pupils". In: *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)* 4.4 (Juli 2013), 14:1–14:37. ISSN: 1936-7228. DOI: [10.1145/2493171.2493172](https://doi.org/10.1145/2493171.2493172) (siehe S. 31–35, 48).
- [Mor+14] Valerie S. Morash, Allison E. Connell Pensky, Steven T. W. Tseng und Joshua A. Miele. "Effects of Using Multiple Hands and Fingers on Haptic Performance in Individuals Who are Blind". In: *Perception* 43.6 (Juni 2014). PMID: 25154288, S. 569–588. DOI: [10.1068/p7712](https://doi.org/10.1068/p7712) (siehe S. 20).
- [MKA15] Omar Mowafi, Mohamed Khamis und Wael Abouelsaadat. "AirDisplay: Experimenting with Air Flow as a Communication Medium". In: *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*. Hrsg. von Julio Abascal, Simone Barbosa, Mirko Fetter, Tom Gross, Philippe Palanque und Marco Winckler. Cham: Springer International Publishing, 2015, S. 316–323. ISBN: 978-3-319-22701-6. DOI: [10.1007/978-3-319-22701-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_23) (siehe S. 48).
- [MWF00] Gabe Moy, Christopher R. Wagner und Ronald S. Fearing. "A compliant tactile display for tele-taction". In: *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065)*. Bd. 4. Apr. 2000, S. 3409–3415. DOI: [10.1109/ROBOT.2000.845247](https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.845247) (siehe S. 50).
- [MGB14] Anirban Mukherjee, Utpal Garain und Arindam Biswas. "Diagram Drawing Using Braille Text: A Low Cost Learning Aid for Blind People". In: Hrsg. von Debi Prasanna Acharjya und Bata Krishna Tripathy. IGI Global, 2014. Kap. 14, S. 384–406. ISBN: 1466649364. DOI: [10.4018/978-1-4666-4936-1.ch014](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4936-1.ch014) (siehe S. 44, 90, 106, 114).

- [MC10] Karin Müller und Angela Constantinescu. "Improving the Accessibility of ASCII Graphics for the Blind Students". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 439–442. ISBN: 978-3-642-14100-3. DOI: [10.1007/978-3-642-14100-3\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_65) (siehe S. 67, 88, 89, 106, 114).
- [Mur+10] Yasuyuki Murai, Masaji Kawahara, Hisayuki Tatsumi und Masahiro Miyakawa. "Kanji writing training with haptic interface for the visually impaired". In: *2010 World Automation Congress*. Kobe, Japan: IEEE, Sep. 2010, S. 1–6. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5665310&isnumber=5665275> (siehe S. 31, 48, 102, 103, 106, 114).
- [MW94] Elizabeth D. Mynatt und Gerhard Weber. "Nonvisual Presentation of Graphical User Interfaces: Contrasting Two Approaches". In: *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '94*. ACM. Boston, Massachusetts, USA, Apr. 1994, S. 166–172. DOI: [10.1145/259963.260338](https://doi.org/10.1145/259963.260338) (siehe S. 32, 34).
- [NF06] Atsushi Nishi und Ryoji Fukuda. "Graphic Editor for Visually Impaired Users". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Arthur I. Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 1139–1146. ISBN: 978-3-540-36021-6. DOI: [10.1007/11788713\\_165](https://doi.org/10.1007/11788713_165) (siehe S. 31, 100, 101, 106, 114).
- [ND86] Donald A. Norman und Stephen W. Draper. *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 1986. ISBN: 0898597811 (siehe S. 8).
- [Oh+15] Uran Oh, Stacy Branham, Leah Findlater und Shaun K. Kane. "Audio-Based Feedback Techniques for Teaching Touchscreen Gestures". In: *ACM Transactions on Accessible Computing* 7.3 (Nov. 2015), 9:1–9:29. ISSN: 1936-7228. DOI: [10.1145/2764917](https://doi.org/10.1145/2764917) (siehe S. 27).
- [Owe+09] Justin M. Owen, Julie A. Petro, Steve M. D'Souza, Ravi Rastogi und Dianne T. V. Pawluk. "An Improved, Low-cost Tactile 'Mouse' for Use by Individuals Who Are Blind and Visually Impaired". In: *Proceedings of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Assets '09. Pittsburgh, Pennsylvania, USA: ACM, Okt. 2009, S. 223–224. ISBN: 978-1-60558-558-1. DOI: [10.1145/1639642.1639686](https://doi.org/10.1145/1639642.1639686) (siehe S. 50).
- [Pap+09] Thrasyvoulos N. Pappas, Vivien C. Tartter, Andrew G. Seward, Boris Genzer, Karen Gourgey und Ilona Kretzschmar. "Perceptual dimensions for a dynamic tactile display". In: *Human Vision and Electronic Imaging XIV*. Hrsg. von Bernice E. Rogowitz und Thrasyvoulos N. Pappas. Bd. 7240. SPIE Proceedings. San Jose, CA, Feb. 2009, S. 1–12. DOI: [10.1117/12.817182](https://doi.org/10.1117/12.817182) (siehe S. 17).
- [Par88] Don Parkes. "'NOMAD': An audio-tactile tool for the acquisition, use and management of spatially distributed information by partially sighted and blind persons". In: *Proceedings of Second International Conference on Maps and Graphics for Visually Disabled People*. Hrsg. von A. Tatham und A. Dodds. King's College London, UK, Apr. 1988, S. 24–29 (siehe S. 83, 96).
- [Par94] Don Parkes. "Audio tactile systems for designing and learning complex environments as a vision impaired person: Static and dynamic spatial information access". In: *Proceedings of the Learning Environment Technology Conference ("LETA 94")*. Australian Society for Educational Technology. University of Adelaide, South Australia, Sep. 1994, S. 219–223. URL: <http://www.ascilite.org/conferences/aset-archives/confs/edtech94/mp/parkes.html> (siehe S. 84, 106, 114).
- [Par91] Don Parkes. "Nomad: Enabling access to graphics and text-based information for blind and visually impaired and other disability groups". In: *Proceedings of the World Congress on Technology and People Disability*. Bd. 5. Arlington, Virginia, Dez. 1991, S. 690–714 (siehe S. 84, 96).
- [Pli+11] Beryl Plimmer, Peter Reid, Rachel Blagojevic, Andrew Crossan und Stephen Brewster. "Signing on the Tactile Line: A Multimodal System for Teaching Handwriting to Blind Children". In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 18.3 (Aug. 2011), 17:1–17:29. ISSN: 1073-0516. DOI: [10.1145/1993060.1993067](https://doi.org/10.1145/1993060.1993067) (siehe S. 31, 48, 102, 103, 106, 109, 110, 112, 114).
- [PC16] Monika Podsiadło und Shweta Chahar. "Text-To-Speech for individuals with vision loss- a user study." In: *Interspeech 2016*. Google. San Francisco, USA, Sep. 2016, S. 347–351. DOI: [10.21437/Interspeech.2016-1376](https://doi.org/10.21437/Interspeech.2016-1376) (siehe S. 22).
- [Pöl+16] Stephan Pölzer, Andreas Kunz, Ali Alavi und Klaus Miesenberger. "An Accessible Environment to Integrate Blind Participants into Brainstorming Sessions". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Christian Bühler und Petr Penaz. Cham: Springer International Publishing, 2016, S. 587–593. ISBN: 978-3-319-41267-2. DOI: [10.1007/978-3-319-41267-2\\_84](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41267-2_84) (siehe S. 31, 32, 82, 95, 106, 109, 114).
- [PM15] Stephan Pölzer und Klaus Miesenberger. "2D Presentation Techniques of Mind-maps for Blind Meeting Participants". In: *Studies in health technology and informatics* 217 (2015), S. 533–538. ISSN: 0926-9630. URL: <http://europepmc.org/abstract/MED/26294524> (siehe S. 95, 236).

- [Pre16] Denise Prescher gen. Bornschein. "Taktile Interaktion auf flächigen Brailledisplays". Diss. Technischen Universität Dresden – Fakultät Informatik, Nov. 2016. URL: <https://d-nb.info/1122432852/34> (siehe S. 17, 19, 46, 87, 137, 142, 147, 152, 278).
- [Pre14] Denise Prescher. "Redesigning input controls of a touch-sensitive pin-matrix device". In: *Proceedings of the International Workshop on Tactile/Haptic User Interfaces for Tabletops and Tablets*. 2014. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper\\_1.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper_1.pdf) (siehe S. 54).
- [PNW10] Denise Prescher, Oliver Nadig und Gerhard Weber. "Reading braille and tactile ink-print on a planar tactile display". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Lecture Notes in Computer Science 6180. Springer, 2010, S. 482–489. DOI: [10.1007/978-3-642-14100-3\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_72) (siehe S. 39).
- [PW17] Denise Prescher und Gerhard Weber. "Comparing Two Approaches of Tactile Zooming on a Large Pin-Matrix Device". In: *Human-Computer Interaction - INTERACT 2017*. Hrsg. von Regina Bernhaupt, Girish Dalvi, Anirudha Joshi, Devanuj K. Balkrishan, Jacki O'Neill und Marco Winckler. Cham: Springer International Publishing, 2017, S. 173–186. ISBN: 978-3-319-67744-6. DOI: [10.1007/978-3-319-67744-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67744-6_11) (siehe S. 19, 138).
- [PW16] Denise Prescher und Gerhard Weber. "Locating widgets in different tactile information visualizations". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Christian Bühler und Petr Penaz. Lecture Notes in Computer Science 9759. Springer, 2016, S. 100–107. DOI: [10.1007/978-3-319-41267-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41267-2_14) (siehe S. 87, 157).
- [PWS10] Denise Prescher, Gerhard Weber und Martin Spindler. "A tactile windowing system for blind users". In: *Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM. 2010, S. 91–98. DOI: [10.1145/1878803.1878821](https://doi.org/10.1145/1878803.1878821) (siehe S. 87, 147, 151, 152).
- [Rad15] Daniela Dimitrova Radojichikj. "Students with visual impairments: Braille reading rate". In: *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education / IJCRSEE* 3.1 (2015), S. 1–5. ISSN: 2334-847X (siehe S. 40).
- [Ram+00] Rameshsharma Ramloll, Wai Yu, Stephen Brewster, Stephen Brewster, Beate Riedel, Mike Burton und Gisela Dimigen. "Constructing Sonified Haptic Line Graphs for the Blind Student: First Steps". In: *Proceedings of the Fourth International ACM Conference on Assistive Technologies*. Assets '00. Arlington, Virginia, USA: ACM, 2000, S. 17–25. ISBN: 1-58113-313-8. DOI: [10.1145/354324.354330](https://doi.org/10.1145/354324.354330) (siehe S. 63, 84).
- [RME07] Kirsten Rassmus-Grohn, Charlotte Magnusson und Hakan Efring. "AHEAD – Audio-Haptic Drawing Editor And Explorer for Education". In: *2007 IEEE International Workshop on Haptic, Audio and Visual Environments and Games*. 2007, S. 62–66. DOI: [10.1109/HAVE.2007.4371588](https://doi.org/10.1109/HAVE.2007.4371588) (siehe S. 31, 34, 35, 75, 84, 101, 102, 106, 110, 111, 114).
- [Ras+14] Kirsten Rassmus-Grohn, Delphine Szymczak, Charlotte Magnusson, Karin Jonsson, Ingegerd Fahlstrom und Karolina Bjork. "Non-visual Drawing with the HIPPA Application". In: *Journal on Technology & Persons with Disabilities* 1 (2014), S. 92–104. URL: <http://hdl.handle.net/10211.3/121969> (siehe S. 4, 6, 7, 31, 48, 84, 87, 102, 106, 109, 114).
- [RPK10] Ravi Rastogi, Dianne T. Pawluk und Jessica M. Ketchum. "Issues of Using Tactile Mice by Individuals Who Are Blind and Visually Impaired". In: *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 18.3 (Juni 2010), S. 311–318. ISSN: 1534-4320. DOI: [10.1109/TNSRE.2010.2045008](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2010.2045008) (siehe S. 50).
- [RVG14] Yosra Rekik, Radu-Daniel Vatavu und Laurent Grisoni. "Understanding Users' Perceived Difficulty of Multi-Touch Gesture Articulation". In: *Proceedings of the 16th International Conference on Multimodal Interaction*. ICMI '14. Istanbul, Turkey: ACM, Nov. 2014, S. 232–239. ISBN: 978-1-4503-2885-2. DOI: [10.1145/2663204.2663273](https://doi.org/10.1145/2663204.2663273) (siehe S. 26).
- [Reu+17] Dorothea Reusser, Espen Knoop, Roland Siegwart und Paul Beardsley. "Feeling Fireworks". In: *Adjunct Publication of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '17. Quebec City, QC, Canada: ACM, 2017, S. 65–66. ISBN: 978-1-4503-5419-6. DOI: [10.1145/3131785.3131811](https://doi.org/10.1145/3131785.3131811) (siehe S. 48).
- [Rob04] John Roberts. "NIST Refreshable Tactile Graphic Display: A New Low-Cost Technology". In: *Proceedings of the 2004 CSUN Conference on Technology and Persons with Disabilities*. Bezogen Oktober 2019. National Institute of Standards, Technology (NIST) und National Federation of the Blind (NFB). Los Angeles, CA, USA, 2004. URL: <http://www.csun.edu/~hfdss006/conf/2004/proceedings/152.htm> (siehe S. 53).
- [Rob07] Thamburaj Robinson. "The Progressive Step Method for Teaching Geometry Constructions to Students With Visual Impairments". In: *Japanese Journal for Special Education* 44.6 (2007), S. 543–550 (siehe S. 70, 182).

- [RN10] Thamburaj Robinson und Atulya K. Nagar. "Tactile Graphic Tool for Portable Digital Pad". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 403–406. ISBN: 978-3-642-14100-3. DOI: [10.1007/978-3-642-14100-3\\_60](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_60) (siehe S. 104, 106, 111, 114).
- [Rot05] Martin C. Rotard. "Standardisierte Auszeichnungssprachen der Computergraphik für interaktive Systeme". Diss. Stuttgart, Germany: Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart, Juli 2005. DOI: [10.18419/opus-2562](https://doi.org/10.18419/opus-2562) (siehe S. 85).
- [RPP00] Patrick Roth, Lori Petrucci und Thierry Pun. "'From Dots To Shapes': an auditory haptic game platform for teaching geometry to blind pupils". In: *ICCHP 2000, International Conference on Computers Helping people with special Needs*. Karlsruhe (Germany), Juli 2000, S. 603–610. URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:47915> (siehe S. 82).
- [Rus+16] Alexander C. Russomanno, Richard Brent Gillespie, Maire Sile O'Modhrain und Mark A. Burns. "Microfluidic actuators with integrated addressing". Englisch. US20180158367A1 (University of Michigan). Juni 2016. URL: <https://patents.google.com/patent/US20180158367A1/en> (siehe S. 50).
- [Rus+15] Alexander Russomanno, Sile O'Modhrain, R. Brent Gillespie und Matthew W. M. Rodger. "Refreshing Refreshable Braille Displays". In: *IEEE Transactions on Haptics* 8.3 (Juli 2015), S. 287–297. ISSN: 1939-1412. DOI: [10.1109/TOH.2015.2423492](https://doi.org/10.1109/TOH.2015.2423492) (siehe S. 50, 85).
- [Sad11] Abdulmotaleb El Saddik. *Haptics technologies bringing touch to multimedia*. Heidelberg, Germany [u.a.]: Springer, 2011. ISBN: 9783642226571 (siehe S. 17).
- [SMS07] E. Sallnas, J. Moll und K. Severinson-Eklundh. "Group Work About Geometrical Concepts Among Blind and Sighted Pupils Using Haptic Interfaces". In: *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)*. März 2007, S. 330–335. DOI: [10.1109/WHC.2007.61](https://doi.org/10.1109/WHC.2007.61) (siehe S. 31, 33–35).
- [Sal+06] Eva-Lotta Sallnäs, Kajsa Bjerstedt-Blom, Fredrik Winberg und Kerstin Severinson Eklundh. "Navigation and Control in Haptic Applications Shared by Blind and Sighted Users". In: *Haptic and Audio Interaction Design*. Hrsg. von David McGookin und Stephen Brewster. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 68–80. ISBN: 978-3-540-37596-8. DOI: [10.1007/11821731\\_7](https://doi.org/10.1007/11821731_7) (siehe S. 34, 35, 48).
- [SBH04] Jaime Sánchez, Nelson Baloian und Tiago Hassler. "Blind to Sighted Children Interaction Through Collaborative Environments". In: *Groupware: Design, Implementation, and Use*. Hrsg. von Gert-Jan de Vreede, Luis A. Guerrero und Gabriela Marín Raventós. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 192–205. ISBN: 978-3-540-30112-7. DOI: [10.1007/978-3-540-30112-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30112-7_16) (siehe S. 31).
- [Sch+09] Maria Schiewe, Wiebke Köhlmann, Oliver Nadig und Gerhard Weber. "What You Feel Is What You Get: Mapping GUIs on Planar Tactile Displays". In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*. Hrsg. von Constantine Stephanidis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, S. 564–573. ISBN: 978-3-642-02710-9. DOI: [10.1007/978-3-642-02710-9\\_63](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02710-9_63) (siehe S. 86, 87).
- [Sch14] Michael Schmidt. "Template-basierte Klassifikation planarer Gesten". Diss. Dresden, Germany: Technischen Universität Dresden – Fakultät Informatik, Juni 2014. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-147370> (siehe S. 25, 187, 206).
- [SW09] Michael Schmidt und Gerhard Weber. "Multitouch Haptic Interaction". In: *Proceedings of the 5th International on Conference Universal Access in Human-Computer Interaction. Part II: Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*. UAHCI '09. San Diego, CA: Springer-Verlag, 2009, S. 574–582. ISBN: 978-3-642-02709-3. DOI: [10.1007/978-3-642-02710-9\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02710-9_64). URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02710-9\\_64](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02710-9_64) (siehe S. 26, 27).
- [SA85] Robert F. Schmidt und Helmut Altner. *Grundriss der Sinnesphysiologie*. 5. Aufl. Heidelberg, Germany [u.a.]: Springer, 1985. ISBN: 3540132252 (siehe S. 17).
- [Sch90] Philip J. Schneider. "An algorithm for automatically fitting digitized curves". In: *Graphics Gems*. Hrsg. von Andrew S. Glassner. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc., 1990. Kap. An Algorithm for Automatically Fitting Digitized Curves, S. 612–626. ISBN: 0-12-286169-5. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=90767.90941> (siehe S. 193).
- [SF86] Waltraud Schweikhardt und Thomas Fehrle. "Ein rechnerunterstützter Zeichenplatz für Blinde". In: *Computerised Braille production – Proceedings of the 5th International Workshop*. Hrsg. von Johannes M. Ebersold, Th. Schwyter und W. A. Slaby. Bd. 1. Katholische Universität Eichstätt. Winterthur, Okt. 1986, S. 251–261 (siehe S. 92, 93, 98, 106, 110, 112, 114, 278).
- [SER05] Selina Sharmin, Grigori Evreinov und Roope Raisamo. "Non-visual feedback cues for pen computing". In: *First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics Conference*. März 2005, S. 625–628. DOI: [10.1109/WHC.2005.99](https://doi.org/10.1109/WHC.2005.99) (siehe S. 47, 50, 112).

- [SSM98] Masami Shinohara, Yutaka Shimizu und Akira Mochizuki. "Three-dimensional tactile display for the blind". In: *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* 6.3 (Sep. 1998), S. 249–256. ISSN: 1063-6528. DOI: [10.1109/86.712218](https://doi.org/10.1109/86.712218) (siehe S. 49, 50).
- [Shn03] Ben Shneiderman. "The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations". In: *The Craft of Information Visualization*. Hrsg. von Benjamin B. Bederson und Ben Shneiderman. Interactive Technologies. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003, S. 364–371. ISBN: 978-1-55860-915-0. DOI: [10.1016/B978-155860915-0/50046-9](https://doi.org/10.1016/B978-155860915-0/50046-9) (siehe S. 18).
- [Sim78] Herbert A. Simon. "Perception and Cognition". In: *Minnesota studies in the philosophy of science*. Hrsg. von Wade C. Savage. Bd. IX. Perception and cognition: Issues in the foundations of psychology. University of Minnesota Press, 1978. Kap. "On the Forms of Mental Representations, S. 3–18 (siehe S. 32).
- [Siu+17] Alexa F. Siu, Eric J. Gonzalez, Shenli Yuan, Jason Ginsberg, Allen Zhao und Sean Follmer. "shapeShift: A Mobile Tabletop Shape Display for Tangible and Haptic Interaction". In: *Adjunct Publication of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '17. Qu&#233;bec City, QC, Canada: ACM, Okt. 2017, S. 77–79. ISBN: 978-1-4503-5419-6. DOI: [10.1145/3131785.3131792](https://doi.org/10.1145/3131785.3131792) (siehe S. 49).
- [Sjö02] Calle Sjöström. "Non-visual haptic interaction design". ISBN: 91-628-5412-7. Diss. Lund, Sweden: Certec, Lund Institute of Technology, Okt. 2002. URL: <https://portal.research.lu.se/portal/files/5577829/3514701.pdf> (siehe S. 48, 84).
- [Sod+13] Rajinder Sodhi, Ivan Poupyrev, Matthew Glisson und Ali Israr. "AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air". In: *ACM Trans. Graph.* 32.4 (Juli 2013), 134:1–134:10. ISSN: 0730-0301. DOI: [10.1145/2461912.2462007](https://doi.org/10.1145/2461912.2462007) (siehe S. 48).
- [Spe+92] Christopher Spencer, Kim Morsley, Simon Ungar, Emma Pike und Mark Blades. "Developing the blind child's cognition of the environment: the role of direct and map-given experience". In: *Geoforum* 23.2 (1992), S. 191–197. ISSN: 0016-7185. DOI: [10.1016/0016-7185\(92\)90016-W](https://doi.org/10.1016/0016-7185(92)90016-W) (siehe S. 17).
- [SKW10] Martin Spindler, Michael Kraus und Gerhard Weber. "A Graphical Tactile Screen-Explorer". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 474–481. ISBN: 978-3-642-14100-3. DOI: [10.1007/978-3-642-14100-3\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_71) (siehe S. 27, 86).
- [Str+10] Jeremy Streque, Abdelkrim Talbi, Philippe Pernod und Vladimir Preobrazhensky. "New Magnetic Microactuator Design Based on PDMS Elastomer and MEMS Technologies for Tactile Display". In: *IEEE Transactions on Haptics* 3.2 (Apr. 2010), S. 88–97. ISSN: 1939-1412. DOI: [10.1109/TOH.2009.61](https://doi.org/10.1109/TOH.2009.61) (siehe S. 50).
- [SIS04] Masahiko Sugimoto, Kazunori Itoh und Michio Shimizu. "Simple Pattern Creation Using a Pen Input Guide and Sound Localization for the Visually Impaired". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang L. Zagler und Dominique Burger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 745–752. ISBN: 978-3-540-27817-7. DOI: [10.1007/978-3-540-27817-7\\_111](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_111) (siehe S. 95, 97, 106, 114).
- [Swa+16] Saiganesh Swaminathan, Thijs Roumen, Robert Kovacs, David Stangl, Stefanie Mueller und Patrick Baudisch. "Linespace: A Sensemaking Platform for the Blind". In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '16. San Jose, California, USA: ACM, 2016, S. 2175–2185. ISBN: 978-1-4503-3362-7. DOI: [10.1145/2858036.2858245](https://doi.org/10.1145/2858036.2858245) (siehe S. 5, 6, 19, 46, 49, 99, 106, 109–114).
- [SCS16] Poonam Syal, Shantanu Chatterji und Harish Kumar Sardana. "DiGVis: A system for comprehensions and creation of directed graphs for the visually challenged". In: *Universal Access in the Information Society* 15.2 (Juni 2016), S. 199–217. ISSN: 1615-5297. DOI: [10.1007/s10209-014-0387-7](https://doi.org/10.1007/s10209-014-0387-7) (siehe S. 19, 31, 36, 78, 81, 82, 95, 96, 106, 109, 110, 114).
- [SNM16] Magdalena Szubielska, Ewa Niestorowicz und Bogusław Marek. "Drawing without eyesight. Evidence from congenitally blind learners". In: *Roczniki Psychologiczne* 19.4 (2016), S. 681–700. ISSN: 1507-7888. DOI: [10.18290/rpsych.2016.19.4-2en](https://doi.org/10.18290/rpsych.2016.19.4-2en) (siehe S. 3, 70–72, 74, 75).
- [TMM15] Noboru Takagi, Shingo Morii und Tatsuo Motoyoshi. "A Study of Input and Scrolling Methods for Tactile Graphics Editors Available for Visually Impaired People". In: *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Okt. 2015, S. 2333–2337. DOI: [10.1109/SMC.2015.408](https://doi.org/10.1109/SMC.2015.408) (siehe S. 5, 51, 99, 106, 107, 109–112, 114).
- [Tak16] Masaya Takasaki. "Pervasive Haptics: Science, Design, and Application". In: Hrsg. von Hiroyuki Kajimoto, Satoshi Saga und Masashi Konyo. Tokyo: Springer Japan, 2016. Kap. Chapter 6: Solid Ultrasonics Tactile Displays, S. 97–110. ISBN: 978-4-431-55772-2. DOI: [10.1007/978-4-431-55772-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55772-2_6) (siehe S. 48).

- [Tan+08] Erika Tanhua-Piironen, Virpi Pasto, Roope Raisamo und Eva-Lotta Sallnäs. “Supporting Collaboration between Visually Impaired and Sighted Children in a Multimodal Learning Environment”. In: *Haptic and Audio Interaction Design*. Hrsg. von Antti Pirhonen und Stephen Brewster. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 11–20. ISBN: 978-3-540-87883-4. DOI: [10.1007/978-3-540-87883-4\\_2](#) (siehe S. 31, 33, 34).
- [Tar11] Christiane Taras. “Darstellungs- und Interaktionstechniken zur effizienten Nutzung grafischer Oberflächen durch Blinde und Sehbehinderte”. Diss. Stuttgart, Germany: Universität Stuttgart, 2011. URL: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2011/6330> (siehe S. 67, 87–89, 106, 111, 112, 114, 115).
- [Tar+10] Christiane Taras, Michael Raschke, Thomas Schlegel und Thomas Ertl. “Running graphical desktop applications on tactile graphics displays made easy”. In: *Proceedings of 3rd International Conference on Software Development for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion (DSAI 2010)*. Oxford, UK, Nov. 2010, S. 141–147 (siehe S. 157).
- [Tay+16] Brandon Taylor, Anind Dey, Dan Siewiorek und Asim Smailagic. “Customizable 3D Printed Tactile Maps As Interactive Overlays”. In: *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ASSETS ’16. Reno, Nevada, USA: ACM, 2016, S. 71–79. ISBN: 978-1-4503-4124-0. DOI: [10.1145/2982142.2982167](#) (siehe S. 43).
- [Toe+11] J. L. Toennies, J. Burgner, T. J. Withrow und R. J. Webster. “Toward haptic/aural touchscreen display of graphical mathematics for the education of blind students”. In: *2011 IEEE World Haptics Conference*. Juni 2011, S. 373–378. DOI: [10.1109/WHC.2011.5945515](#) (siehe S. 83).
- [TZL19] Anna Tscherejkina, Francis Zinke und Ulrike Lucke. “Functional Decomposition of Web Services for Visualization on Tactile Displays for Blind Users”. In: *MuC’19: Proceedings of Mensch und Computer 2019*. MuC’19. Hamburg, Germany: Association for Computing Machinery (ACM), Sep. 2019, S. 701–705. DOI: [10.1145/3340764.3344894](#) (siehe S. 236).
- [Tul14] Yurii Tulashvili. “Method of training blind students to the construction of graphic images with the application of Autocad 2D”. In: *Edukacija – Technika - Informatyka* 5.1 (2014), S. 546–550 (siehe S. 88).
- [Van96] Gregg C. Vanderheiden. “Use of Audio-Haptic Interface Techniques to Allow Nonvisual Access to Touchscreen Appliances”. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 40.24 (Okt. 1996), S. 1266–1266. DOI: [10.1177/154193129604002430](#) (siehe S. 23).
- [VPW06] Ramiro Velázquez, Edwige E. Pissaloux und Michaël Wiertelowski. “A compact tactile display for the blind with shape memory alloys”. In: *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006*. Mai 2006, S. 3905–3910. DOI: [10.1109/ROBOT.2006.1642300](#) (siehe S. 50).
- [VH07] F. Vidal-Verdu und M. Hafez. “Graphical Tactile Displays for Visually-Impaired People”. In: *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 15.1 (März 2007), S. 119–130. ISSN: 1534-4320. DOI: [10.1109/TNSRE.2007.891375](#) (siehe S. 46, 50, 51).
- [VWB08] Thorsten Völkel, Gerhard Weber und Ulrich Baumann. “Tactile Graphics Revised: The Novel Braille-Dis 9000 Pin-Matrix Device with Multitouch Input”. In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler und Arthur Karshmer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, S. 835–842. ISBN: 978-3-540-70540-6. DOI: [10.1007/978-3-540-70540-6\\_124](#) (siehe S. 50, 86, 279).
- [WLH02] Christopher R. Wagner, Susan J. Lederman und Robert D. Howe. “A tactile shape display using RC servomotors”. In: *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS 2002*. März 2002, S. 354–355. DOI: [10.1109/HAPTIC.2002.998981](#) (siehe S. 50).
- [WB02] Wai Yu und Stephen A. Brewster. “Comparing two haptic interfaces for multimodal graph rendering”. In: *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS 2002*. März 2002, S. 3–9. DOI: [10.1109/HAPTIC.2002.998934](#) (siehe S. 48).
- [WNL06] Bruce N. Walker, Amanda Nance und Jeffrey Lindsay. “Spearcons: speech-based earcons improve navigation performance in auditory menus”. In: *In Proceedings of the International Conference on Auditory Display*. Bd. 12. London, UK, Juni 2006, S. 63–68. DOI: [10.1177/0018720812450587](#) (siehe S. 82).
- [WB05] Steven A. Wall und Stephen A. Brewster. “Providing external memory aids in haptic visualisations for blind computer users”. In: *International Journal on Disability and Human Development* 4.4 (2005), S. 331–338. DOI: [10.1515/IJDHD.2005.4.4.331](#) (siehe S. 84).
- [WB06a] Steven A. Wall und Stephen A. Brewster. “Tac-tiles: Multimodal Pie Charts for Visually Impaired Users”. In: *Proceedings of the 4th Nordic Conference on Human-computer Interaction: Changing Roles*. NordiCHI ’06. Oslo, Norway: ACM, 2006, S. 9–18. ISBN: 1-59593-325-5. DOI: [10.1145/1182475.1182477](#) (siehe S. 50, 51).



- [WB06b] Steven Wall und Stephen Brewster. "Feeling What You Hear: Tactile Feedback for Navigation of Audio Graphs". In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '06. Montré<#233;al, Qu&#233;bec, Canada: ACM, 2006, S. 1123–1132. ISBN: 1-59593-372-7. DOI: **10.1145/1124772.1124941** (siehe S. 50).
- [WK02] Tetsuya Watanabe und Makoto Kobayashi. "A prototype of the freely rewritable tactile drawing system for persons who are blind". In: *Journal of visual impairment and blindness* 96.6 (2002), S. 460–464. DOI: **10.1177/0145482X0209600611** (siehe S. 191).
- [Wat+06] Tetsuya Watanabe, Makoto Kobayashi, Shoichiro Ono und Keiko Yokoyama. "Practical use of interactive tactile graphic display system at a school for the blind". In: *Proc. Fourth International Conference on Multimedia and Information and Communication Technologies in Education (m-ICTE)*. 2006, S. 1111–1115. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281501755\\_Practical\\_use\\_of\\_interactive\\_tactile\\_graphic\\_display\\_system\\_at\\_a\\_school\\_for\\_the\\_blind\\_2](https://www.researchgate.net/publication/281501755_Practical_use_of_interactive_tactile_graphic_display_system_at_a_school_for_the_blind_2) (siehe S. 31, 75, 100, 101, 106, 110–112, 114).
- [Web04] Gerhard Weber. "Empowering IT for Social Integration". In: *Proceedings of Conference and Workshop on Assistive Technologies for Vision and Hearing Impairments (CVHI 2004)*. Granada, Spain, Juni 2004 (siehe S. 28).
- [Web89a] Gerhard Weber. *Interaktive Dialogtechniken für blinde Rechnerbenutzer*. Universität Stuttgart, 1989 (siehe S. 50, 100, 106, 114, 115, 278).
- [Web89b] Gerhard Weber. "Reading and pointing-modes of interaction for blind users". In: *Information processing* 89 (1989), S. 535–540 (siehe S. 21).
- [Whi+18] Eric Whitmire, Hrvoje Benko, Christian Holz, Eyal Ofek und Mike Sinclair. "Haptic Revolver: Touch, Shear, Texture, and Shape Rendering on a Reconfigurable Virtual Reality Controller". In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. Montreal QC, Canada: ACM, 2018, 86:1–86:12. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: **10.1145/3173574.3173660** (siehe S. 48).
- [Wij+12] Dinesh Wijekoon, Marta E. Cecchinato, Eve Hoggan und Jukka Linjama. "Electrostatic Modulated Friction as Tactile Feedback: Intensity Perception". In: *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication*. Hrsg. von Poika Isokoski und Jukka Springare. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 613–624. ISBN: 978-3-642-31401-8. DOI: **10.1007/978-3-642-31401-8\_54** (siehe S. 48).
- [Wil+14] Elisabeth Wilhelm, Thorsten Schwarz, Gerhard Jaworek, Achim Voigt und Bastian E. Rapp. "Towards Displaying Graphics on a Cheap, Large-Scale Braille Display". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Cham: Springer International Publishing, 2014, S. 662–669. ISBN: 978-3-319-08596-8. DOI: **10.1007/978-3-319-08596-8\_102** (siehe S. 50).
- [Win06] Fredrik Winberg. "Supporting Cross-Modal Collaboration: Adding a Social Dimension to Accessibility". In: *Haptic and Audio Interaction Design*. Hrsg. von David McGookin und Stephen Brewster. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 102–110. ISBN: 978-3-540-37596-8. DOI: **10.1007/11821731\_10** (siehe S. 33, 35).
- [WB04] Fredrik Winberg und John Bowers. "Assembling the Senses: Towards the Design of Cooperative Interfaces for Visually Impaired Users". In: *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*. CSCW '04. Chicago, Illinois, USA: ACM, 2004, S. 332–341. ISBN: 1-58113-810-5. DOI: **10.1145/1031607.1031662** (siehe S. 32).
- [Wor96] Diane P. Wormsley. "Reading rates of young braille-reading children". In: *Journal of Visual Impairment & Blindness* 90.3 (Juni 1996), S. 278–282. ISSN: 0145-482X (siehe S. 19, 21).
- [Wu+17] Shaomei Wu, Jeffrey Wieland, Omid Farivar und Julie Schiller. "Automatic Alt-text: Computer-generated Image Descriptions for Blind Users on a Social Network Service". In: *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*. CSCW '17. Portland, Oregon, USA: ACM, Feb. 2017, S. 1180–1192. ISBN: 978-1-4503-4335-0. DOI: **10.1145/2998181.2998364** (siehe S. 2).
- [Yan+06] Gi-Hun Yang, Ki-Uk Kyung, Mandayam A. Srinivasan und Dong-Soo Kwon. "Quantitative tactile display device with pin-array type tactile feedback and thermal feedback". In: *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006*. Mai 2006, S. 3917–3922. DOI: **10.1109/ROBOT.2006.1642302** (siehe S. 50).
- [YNL17] Shanshan Yao, Baoning Niu und Jianquan Liu. "Audio Identification by Sampling Sub-fingerprints and Counting Matches". In: *IEEE Transactions on Multimedia* 19.9 (Sep. 2017), S. 1984–1995. ISSN: 1520-9210. DOI: **10.1109/TMM.2017.2723846** (siehe S. 27).

- [YB02] Wai Yu und Stephen Brewster. “Multimodal Virtual Reality Versus Printed Medium in Visualization for Blind People”. In: *Proceedings of the Fifth International ACM Conference on Assistive Technologies. Assets '02*. Edinburgh, Scotland: ACM, 2002, S. 57–64. ISBN: 1-58113-464-9. DOI: [10.1145/638249.638261](https://doi.org/10.1145/638249.638261) (siehe S. 84).
- [YKB03] Wai Yu, Katri Kangas und Stephen A. Brewster. “Web-based haptic applications for blind people to create virtual graphs”. In: *11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2003. HAPTICS 2003. Proceedings*. 2003, S. 318–325. DOI: [10.1109/HAPTIC.2003.1191301](https://doi.org/10.1109/HAPTIC.2003.1191301) (siehe S. 31, 48, 50, 84, 94, 106, 109, 112–114).
- [YRB01] Wai Yu, Ramesh Ramloll und Stephen Brewster. “Haptic graphs for blind computer users”. In: *Haptic Human-Computer Interaction*. Hrsg. von Stephen Brewster und Roderick Murray-Smith. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, S. 41–51. ISBN: 978-3-540-44589-0. DOI: [10.1007/3-540-44589-7\\_5](https://doi.org/10.1007/3-540-44589-7_5) (siehe S. 84).
- [Zar+17] Juan Jose Zarate, Olexandr Gudozhnik, Anthony S. Ruch und Herbert Shea. “Keep in Touch: Portable Haptic Display with 192 High Speed Taxels”. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '17. Denver, Colorado, USA: ACM, 2017, S. 349–352. ISBN: 978-1-4503-4656-6. DOI: [10.1145/3027063.3052957](https://doi.org/10.1145/3027063.3052957) (siehe S. 59).
- [Zha+18] Yuhang Zhao, Cynthia L. Bennett, Hrvoje Benko, Edward Cutrell, Christian Holz, Meredith Ringel Morris und Mike Sinclair. “Enabling People with Visual Impairments to Navigate Virtual Reality with a Haptic and Auditory Cane Simulation”. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. Montreal QC, Canada: ACM, 2018, 116:1–116:14. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: [10.1145/3173574.3173690](https://doi.org/10.1145/3173574.3173690) (siehe S. 48).
- [Zin+17] Francis Zinke, Elnaz Mazandarani, Marlene Karlapp und Ulrike Lucke. “A Generic Framework for Creating Customized Tactile User Interfaces”. In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Designing Novel Interactions*. Hrsg. von Margherita Antona und Constantine Stephanidis. Cham: Springer International Publishing, 2017, S. 379–389. ISBN: 978-3-319-58703-5. DOI: [10.1007/978-3-319-58703-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58703-5_28) (siehe S. 236).

## Online Referenzen

- [oAbo17] Shadi Abou-Zahra. *Evaluation and Report Language (EARL) 1.0 Schema*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Dezember 2019. W3C Working Group, Feb. 2017. URL: <https://www.w3.org/TR/EARL10-Schema/> (siehe S. 127).
- [oAma01] Sheila Steiner Amato. *Braille Resources – A Descriptive study of standards and criteria for competence in braille literacy within teacher preparation programs in the United States and Canada*. Forschungsber. Zusammenfassung. Zuletzt besucht: August 2019. Austin, TX, USA: Texas School for the Blind und Visually Impaired, Nov. 2001. URL: <https://www.tsbvi.edu/braille-resources/170-a-descriptive-study-of-standards-and-criteria-for-competence-in-braille-literacy> (siehe S. 16).
- [oApe10] Reinhard Apelt. *Lego-Diagramme für Blinde*. Forschungsber. Bezogen Februar 2020. Dortmund, Germany: Universität Dortmund, Fakultät Rehabilitationswissenschaften, 2010. URL: [https://www.isar-projekt.de/portal/1/uploads/didaktikpool\\_395\\_1.pdf](https://www.isar-projekt.de/portal/1/uploads/didaktikpool_395_1.pdf) (siehe S. 64).
- [oAF08] Dominique Archambault und Dónal Fitzpatrick. “Impact of ICT on the Teaching of Maths to VIP (Visually Impaired People)”. In: *5th JEM Workshop – Joining Educational Mathematics*. Bezogen November 2019. Institut Finlandais. Paris, Fr, Nov. 2008, S. 1–50. URL: <https://chezdom.net/wp-content/uploads/2008/11/jem112008-dom-don.pdf> (siehe S. 32).
- [oBAN10] BANA and CBA. “Guidelines and Standards for Tactile Graphics”. In: *BANA - Codebooks and Guidelines* (2010). Zuletzt besucht: Oktober 2019. URL: <http://www.brailleauthority.org/tg/> (siehe S. 122, 124).
- [oBE18] Denise Bornschein und Christin Engel. *Erkundung taktiler Grafiken – Schulungsunterlagen für blinde und sehbehinderte Menschen*. Forschungsber. Bezogen im August 2019. Dresden, Germany: TU Dresden – Fakultät Informatik, Institut für Angewandte Informatik, Prof. für Mensch-Computer Interaktion, Feb. 2018. URL: [https://tu-dresden.de/ing/informatik/ai/mci/ressourcen/dateien/forschung/mosaik/Schulung\\_Erkundung\\_taktiler\\_Grafiken.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/ing/informatik/ai/mci/ressourcen/dateien/forschung/mosaik/Schulung_Erkundung_taktiler_Grafiken.pdf?lang=de) (siehe S. 19).
- [oBun19] Bundesagentur für Arbeit – Zentraler Statistik-Service. *Statistik der Bundesagentur für Arbeit, Analyse Arbeitsmarkt, Menschen mit Behinderung, Deutschland 2018*. Forschungsber. Bezogen im August 2019. Nürnberg, Deutschland: Bundesagentur für Arbeit, Juni 2019. URL: <https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/201812/analyse/analyse-arbeitsmarkt-schwerbehinderte/analyse-arbeitsmarkt-schwerbehinderte-d-0-201812-pdf.pdf> (siehe S. 16).

- [oDes19a] Desmos, Inc. *Desmos Graphing Calculator*. Software. Zuletzt besucht: August 2019. Desmos, Inc. San Francisco, CA, USA, 2019. URL: <https://www.desmos.com> (siehe S. 92, 106, 114, 115).
- [oDes19b] Desmos, Inc. *Desmos Graphing Calculator Accessibility*. Software. Zuletzt besucht: August 2019. Desmos, Inc. San Francisco, CA, USA, 2019. URL: <https://www.desmos.com/accessibility> (siehe S. 92).
- [oEAS14] E.A.S.Y. Tactile Graphics. in *TACT Eraser User Manual*. Techn. Ber. 2. Zuletzt besucht: August 2019. Burlington, Vermont, USA: E.A.S.Y. LLC, Okt. 2014. URL: [http://www.easytactilegraphics.com/wp-content/uploads/2014/10/inTACT\\_Eraser\\_Manual\\_v2.pdf](http://www.easytactilegraphics.com/wp-content/uploads/2014/10/inTACT_Eraser_Manual_v2.pdf) (siehe S. 65).
- [oFee18a] Feelif. *Feelif Draw*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Mai 2019. Trzin, Slovenien: Feelif d.o.o., 2018. URL: <https://www.feelif.com/education/education-apps/796/geometric-functions-8169/> (siehe S. 97, 106, 114).
- [oFee18b] Feelif. *Feelif Geometric Functions*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Mai 2019. Trzin, Slovenien: Feelif d.o.o., 2018. URL: <https://www.feelif.com/education/education-apps/796/draw-8171/> (siehe S. 97, 106, 114).
- [oFO18] Sandra Fernando und James Ohene-Djan. "An Empirical Evaluation of a Screen Navigation and Graphics Manipulation Technique for Blind and Visually impaired Individuals". Bezogen im Mai 2019. 2018. URL: <https://eprints.goldsmiths.ac.uk/24180/1/ComputerAidedDrawing%26NavigationTechnique%20Main.pdf> (siehe S. 82, 98, 99, 106, 114).
- [oGeo19] GeoGebra Institute. *GeoGebra Mathe Apps*. Software. Zuletzt besucht: August 2019. GeoGebra GmbH, Linz, Austria, 2019. URL: <https://www.geogebra.org/> (siehe S. 92, 106, 114, 115).
- [oGG09] David Greve und Ulrich Greve. *BlindPaint – A drawing program for blind people with the aid of a touch-screen*. Software. Zuletzt besucht: Mai 2019. Nürnberg: tichnut.de, 2009. URL: <http://www.tichnut.de/blindpaint/> (siehe S. 97, 106, 114).
- [oGup07] Arvind Gupta. *A Touching Slate*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: August 2019. IUCAA und Tata Trust, Juli 2007. URL: <http://www.arvindguptatoys.com/toys/touchingslate.html> (siehe S. 66).
- [oHel01] Dietmar Helios. *Handbuch zur Erstellung taktiler Graphiken (3. Auflage)*. Forschungsber. Bezogen im August 2019. Universität Karlsruhe, Studienzentrum für Sehgeschädigte, 2001. URL: <http://www.szs.uni-karlsruhe.de/download/grafik.pdf> (siehe S. 19, 122, 124).
- [oIFA13] IFA. *The High Cost of Low Vision: The Evidence on Ageing and the Loss of Sight*. Forschungsber. Bezogen im August 2019. New York, USA: International Federation on Ageing (IFA), Feb. 2013. URL: <https://www.ifa-fiv.org/wp-content/uploads/2013/02/The-High-Cost-of-Low-Vision-The-Evidence-on-Ageing-and-the-Loss-of-Sight.pdf> (siehe S. 2).
- [oJus19] Bundesamt für Justiz. *Verordnung zur Schaffung barrierefreier Informationstechnik nach dem Behindertengleichstellungsgesetz (Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung - BITV 2.0)*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Oktober 2019. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Sep. 2019. URL: [https://www.gesetze-im-internet.de/bitv\\_2\\_0/BJNR184300011.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bitv_2_0/BJNR184300011.html) (siehe S. 4).
- [oKir13] Andrew Kirillov. *AForge.NET Framework 2.2.5*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Februar 2017. AForge.NET Community, Juli 2013. URL: <http://www.aforge.net/framework/> (siehe S. 197).
- [oKir+18] Andrew Kirkpatrick, Joshue O. Connor, Alastair Campbell und Michael Cooper. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Oktober 2019. The World Wide Web Consortium (W3C), Juni 2018. URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG21> (siehe S. 4).
- [oLeu08] Astrid Leutbecher. *Vorschlag für Standards zur Erstellung taktiler Abbildungen*. Techn. Ber. Bezogen im September 2019. Förderzentrum für die integrative Beschulung blinder und hochgradig sehbehinderter Schülerinnen und Schüler (FIBS), 2008. URL: [https://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/f/fibs/weitere\\_hilfen/taktile\\_abbildungen.pdf](https://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/f/fibs/weitere_hilfen/taktile_abbildungen.pdf) (siehe S. 122, 124).
- [omet16b] metec AG. *Hyperbraille S Display 6240*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Dezember 2017. Stuttgart, Germany: metec AG, 2016. URL: <http://web.metec-ag.de/Hyperbraille%5C%20S.pdf> (siehe S. 205).
- [oMic17] Microsoft – Windows Dev Center. *Kinect – Windows app development*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Februar 2017. Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2017. URL: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect> (siehe S. 196, 206).
- [oPeg08] Pegasus Technologies. *Pegasus Digital Pen Developers Site – Bezugsquelle für SDK und API*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Dezember 2017. Azor, Israel: Pegasus Technologies Ltd., 2008. URL: <https://sites.google.com/site/pegasusdigitalpendevelopers/home> (siehe S. 191, 206).
- [oPen12] Pentel. *airpen Pocket - about airpens*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Dezember 2017. Pentel Inc., 2012. URL: <http://www.airpen.jp/english/mechanics/index.html> (siehe S. 190, 206).
- [oRC00] Chris Ridpath und Wendy Chisholm. *Techniques For Accessibility Evaluation And Repair Tools*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Dezember 2019. The World Wide Web Consortium (W3C), Apr. 2000. URL: <https://www.w3.org/TR/AERT/> (siehe S. 155).

- [oRoy20] Royal Blind Learning Hub. *15 Basic Tips for Teaching Maths to Pupils with Vision Impairment*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Februar 2020. Edinburgh, Scotland: Royal Blind, 2020 (siehe S. 61, 64).
- [oSCh97] Helmut Schröder. *Die Beschäftigungssituation von Blinden – Ausgewählte Ergebnisse einer Befragung von Blinden und Unternehmen*. Forschungsber. 2. Bezogen im August 2019. Nürnberg, Deutschland: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (MittAB) – Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit (IAB), 1997. URL: [http://doku.iab.de/mittab/1997/1997\\_2\\_MittAB\\_Schroeder.pdf](http://doku.iab.de/mittab/1997/1997_2_MittAB_Schroeder.pdf) (siehe S. 16).
- [oSCh02] Marco Schuffelen. *On editing graphics for the blind*. Techn. Ber. Bezogen im September 2019. The Hague, Holland: Netherlands Library for spoken Books und Braille (NLBB), 2002. URL: [http://piaf-tactile.com/docs/Tactile\\_Graphics\\_Manual.pdf](http://piaf-tactile.com/docs/Tactile_Graphics_Manual.pdf) (siehe S. 122, 124).
- [oSel17] Peter Selinger. *Potrace Library API*. Software. Bezogen im Februar 2017. Halifax, Nova Scotia, Canada: Department of Mathematics und Statistics – Dalhousie University, 2017. URL: <http://potrace.sourceforge.net/potracelib.pdf> (siehe S. 198).
- [oTAE02] TAEVIS – Office of the Dean of Students. *Tactile Diagram Manual*. Techn. Ber. Bezogen im August 2014. West Lafayette, IN, USA: Purdue University, 2002. URL: [http://www.purdue.edu/odos/drc/Tactile\\_Diagram\\_Manual\\_PRINT.pdf](http://www.purdue.edu/odos/drc/Tactile_Diagram_Manual_PRINT.pdf) (siehe S. 122, 124).
- [oThe13] The Tactile Graphics Project. *Tactile Graphics Assistant Software – Reference & Usage Manual*. Techn. Ber. 2. Bezogen im Februar 2020. Seattle, WA, USA: University of Washington, 2013. URL: <http://diagramcenter.org/images/tga%20manual.doc> (siehe S. 69).
- [oThi16a] Thinkable. *TactileView by Thinkable*. Software. Zuletzt besucht: Mai 2019. Thinkable, Huissen, Netherlands, 2016. URL: <http://www.tactileview.com/> (siehe S. 104, 106, 112, 114, 115).
- [oThi16b] Thinkable. *TactiPad Drawing Tablet by Thinkable*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Mai 2019. Thinkable, Huissen, Netherlands, 2016. URL: <http://www.tactipad.nl/tactipad/> (siehe S. 104, 106, 114, 115).
- [oTou08] Touch Graphics, Inc. *Authoring Tool LE*. Software. Zuletzt besucht: Mai 2019. Touch Graphics, Inc. Elkton, Maryland, USA, 2008. URL: <http://touchgraphics.com/portfolio/authoring-tool/> (siehe S. 68, 96, 106, 114).
- [oTou16] Touch Graphics, Inc. *Talking Tactile Tablet 2*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Mai 2019. Touch Graphics, Inc. Elkton, Maryland, USA, 2016. URL: <http://touchgraphics.com/portfolio/ttt/> (siehe S. 68, 83, 96, 97, 106, 114).
- [oUS 00] U.S. Access Board. *Section 508 Standards for Electronic and Information Technology*. Techn. Ber. Zuletzt besucht: Oktober 2019. Washington, DC, USA: U.S. Federal Government, Dez. 2000. URL: <https://www.access-board.gov/guidelines-and-standards/communications-and-it/about-the-section-508-standards/section-508-standards> (siehe S. 107, 110).
- [oWag05] Lloyd Waggener. “New IVEO Software Makes Pictures Speak”. In: *ViewPlus Website* (Mai 2005). Zuletzt besucht: August 2019. URL: <https://viewplus.com/new-iveo-software-makes-pictures-speak/> (siehe S. 68).
- [oWeb19] WebAIM. *Screen Reader User Survey #8 Results*. Forschungsber. 8. Bezogen im Oktober 2019. Utha, USA: Center for Persons with Disabilities – Utah State University, Sep. 2019. URL: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey8/> (siehe S. 28).
- [oWHO12] WHO – Silvio P. Mario. *Global Data on Visual Impairments 2010*. Forschungsber. Bezogen im August 2019. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2012. URL: <https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf> (siehe S. 15).

## Publikationen

- [\*BBW18a] Jens Bornschein, Denise Bornschein und Gerhard Weber. “Blind Pictionary: Drawing Application for Blind Users”. In: *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '18. Montreal QC, Canada: ACM, 2018, D117:1–D117:4. ISBN: 978-1-4503-5621-3. DOI: 10.1145/3170427.3186487.
- [\*BBW18b] Jens Bornschein, Denise Bornschein und Gerhard Weber. “Blinde Montagsmaler – Bilderraten auf einem taktilen Display”. In: *Mensch und Computer 2018 – Workshopband*. Hrsg. von Raimund Dachse und Gerhard Weber. **2. Platz: Beste Demo**. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2018. DOI: 10.18420/muc2018-demo-0503.

- [\*BBW18c] Jens Bornschein, Denise Bornschein und Gerhard Weber. "Comparing Computer-Based Drawing Methods for Blind People with Real-Time Tactile Feedback". In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. **Honorable Mention Award**. Montreal QC, Canada: ACM, 2018, 115:1–115:13. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: [10.1145/3173574.3173689](https://doi.org/10.1145/3173574.3173689) (siehe S. 55, 181).
- [\*Pre+18] Denise Prescher, Jens Bornschein, Wiebke Köhlmann und Gerhard Weber. "Touching graphical applications: bimanual tactile interaction on the HyperBraille pin-matrix display". In: *Universal Access in the Information Society* 17.2 (Juni 2018), S. 391–409. ISSN: 1615-5297. DOI: [10.1007/s10209-017-0538-8](https://doi.org/10.1007/s10209-017-0538-8) (siehe S. 30, 86).
- [\*BB17] Denise Bornschein und Jens Bornschein. "Wenn die Hand zum Auge wird". In: *Informatik-Spektrum* 40.6 (Dez. 2017), S. 573–581. ISSN: 1432-122X. DOI: [10.1007/s00287-017-1067-9](https://doi.org/10.1007/s00287-017-1067-9).
- [\*BFB17] Jens Bornschein, Lukas Förster und Denise Bornschein. "TOF Tactile Stamps: Drawing Object Silhouettes Through Depth Segmentation by Blind People". In: *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. PETRA '17. Island of Rhodes, Greece: ACM, 2017, S. 5–8. ISBN: 978-1-4503-5227-7. DOI: [10.1145/3056540.3064946](https://doi.org/10.1145/3056540.3064946) (siehe S. 195, 198).
- [\*BW17] Jens Bornschein und Gerhard Weber. "Digital Drawing Tools for Blind Users: A State-of-the-Art and Requirement Analysis". In: *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. PETRA '17. **Best Technical Paper Award**. Island of Rhodes, Greece: ACM, 2017, S. 21–28. ISBN: 978-1-4503-5227-7. DOI: [10.1145/3056540.3056542](https://doi.org/10.1145/3056540.3056542) (siehe S. 88, 107).
- [\*PBW17] Denise Prescher, Jens Bornschein und Gerhard Weber. "Consistency of a Tactile Pattern Set". In: *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)* 10.2 (Apr. 2017), 7:1–7:29. ISSN: 1936-7228. DOI: [10.1145/3053723](https://doi.org/10.1145/3053723) (siehe S. 41, 123, 135).
- [\*Bor16] Jens Bornschein. "Digital and tactile drawing-system for blind users". In: *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing (ACM Newsletter)* 114 (2016), S. 11–15. DOI: [10.1145/2904092.2904095](https://doi.org/10.1145/2904092.2904095).
- [\*BP16] Jens Bornschein und Denise Prescher. "Visual to Non-visual Collaboration on a Dynamic Tactile Graphics Display". In: *Collaboration Meets Interactive Spaces*. Hrsg. von Craig Anslow, Pedro Campos und Joaquim Jorge. Springer International Publishing, 2016. Kap. Case Studies and Applications, S. 443–461. ISBN: 978-3-319-45853-3. DOI: [10.1007/978-3-319-45853-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45853-3_19) (siehe S. 31).
- [\*PB16] Denise Prescher und Jens Bornschein. *Richtlinien zur Umsetzung taktiler Grafiken*. Technische Universität Dresden, Dresden. 2016. DOI: [10.13140/RG.2.2.36192.84481](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36192.84481). URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-196167> (siehe S. 122, 124, 125, 127, 129, 131, 135, 166, 294–297).
- [\*BPW15a] Jens Bornschein, Denise Prescher und Gerhard Weber. "Collaborative Creation of Digital Tactile Graphics". In: *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility (ASSETS)*. ASSETS '15. Lisbon, Portugal: ACM, 2015, S. 117–126. ISBN: 978-1-4503-3400-6. DOI: [10.1145/2700648.2809869](https://doi.org/10.1145/2700648.2809869) (siehe S. 5, 165).
- [\*BPW15b] Jens Bornschein, Denise Prescher und Gerhard Weber. "Inclusive production of tactile graphics". In: *Human-Computer Interaction (INTERACT 2015)*. Hrsg. von Julio Abascal, Simone Barbosa, Mirko Fetter, Tom Gross, Philippe Palanque und Marco Winckler. Lecture Notes in Computer Science 9296. Springer, 2015, S. 80–88. DOI: [10.1007/978-3-319-22701-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_7) (siehe S. 134).
- [\*Bor14] Jens Bornschein. "BrailleIO – a tactile display abstraction framework". In: *Proceedings of the International Workshop on Tactile/Haptic User Interfaces for Tabletops and Tablets*. Hrsg. von Limin Zeng und Gerhard Weber. Dresden, Germany: CEUR Workshop Proceedings, 2014, S. 1–6. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper\\_4.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper_4.pdf) (siehe S. 147).
- [\*BP14] Jens Bornschein und Denise Prescher. "Collaborative tactile graphic workstation for touch-sensitive pin-matrix devices". In: *Proceedings of the International Workshop on Tactile/Haptic User Interfaces for Tabletops and Tablets*. Hrsg. von Limin Zeng und Gerhard Weber. Dresden, Germany: CEUR Workshop Proceedings, 2014. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper\\_5.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1324/paper_5.pdf) (siehe S. 134).
- [\*BPW14] Jens Bornschein, Denise Prescher und Gerhard Weber. "SVGPlott – Generating Adaptive and Accessible Audio-Tactile Function Graphs". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Cham: Springer International Publishing, 2014, S. 588–595. ISBN: 978-3-319-08596-8. DOI: [10.1007/978-3-319-08596-8\\_91](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08596-8_91) (siehe S. 41, 135, 232).
- [\*PBW14] Denise Prescher, Jens Bornschein und Gerhard Weber. "Production of Accessible Tactile Graphics". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Lecture Notes in Computer Science 8548. Springer, 2014, S. 26–33. DOI: [10.1007/978-3-319-08599-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08599-9_5) (siehe S. 4, 5, 7, 37, 46, 67, 76, 77, 80, 87, 119, 121, 125, 134).

- [\*VBW14] Jens Voegler, Jens Bornschein und Gerhard Weber. "Markdown – A Simple Syntax for Transcription of Accessible Study Materials". In: *Computers Helping People with Special Needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger, Deborah Fels, Dominique Archambault, Petr Peňáz und Wolfgang Zagler. Cham: Springer International Publishing, 2014, S. 545–548. ISBN: 978-3-319-08596-8. DOI: [10.1007/978-3-319-08596-8\\_85](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08596-8_85).
- [\*Bor+13] Jens Bornschein, Denise Prescher, Michael Schmidt und Gerhard Weber. "Nicht-visuelle Interaktion auf berührungsempfindlichen Displays". In: *Multi-Touch*. Hrsg. von Thomas Schlegel. Xpert.press. Springer, 2013. Kap. Multi-Touch und mehr, S. 319–338. ISBN: 978-3-642-36112-8. DOI: [10.1007/978-3-642-36112-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36112-8_15) (siehe S. 20, 24, 151).
- [\*Web+11] Gerhard Weber, Jens Bornschein, Claudia Loitsch, Denise Prescher, Michael Schmidt, Martin Spindler und Jens Voegler. "Banning a Chimera with the HyperBraille Display". In: *World Congress Braille21. Innovations in Braille in the 21st Century*. World Blind Union. 2011. URL: [https://braille21.dzb.de/files/papers\\_topic\\_2\\_weber\\_et\\_al.doc](https://braille21.dzb.de/files/papers_topic_2_weber_et_al.doc).

## Studentische Arbeiten

- [sBie18] Marvin Biedermann. "E-Learning for All – Überarbeitung der Lernplattform Learnaxy". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Masterarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018.
- [sBol18] Fabian Boltz. "Sprachsteuerung einer taktilen Zeichenanwendung für blinde Benutzer". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018 (siehe S. 234).
- [sHop18] Robert Hopf. "Entwicklung eines Renderers zur Darstellung von kombinierten Inhalten aus Text und Bild auf taktilen Flächendisplays für blinde Nutzer". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018 (siehe S. 236).
- [sSch18a] Frank Schirlitz. "Interaktives Unterschriftentraining für blinde Menschen". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018 (siehe S. 233).
- [sSch18b] Stephanie Schöne. "Dialogerweiterungen und GUI Synchronisation für das BrailleIO Framework – Forschungsprojekt Multimodale Interaktion". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Forschungsber. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018 (siehe S. 157, 158).
- [sVet18] Matthias Vetter. "Audio-taktiler Zugang zur Lernplattform Learnaxy". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Masterarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2018 (siehe S. 236).
- [sBey17] Kai Beyrich. "Taktils Zeichnen mittels Gesteneingabe". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Diplomarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017 (siehe S. 188, 191, 206).
- [sFR17] Jan Forberg und Benjamin Riedel. "Tactile Gaming – RPG Wahlversprechen". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Mensch-Computer Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017. URL: <https://github.com/holycrab13/TactileGame> (siehe S. 236).
- [sFör17] Lukas Förster. "Segmentierung von Objektsilhouetten mittels TOF-System". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017 (siehe S. 196–198).
- [sJob17] Michael Jobst. "Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen Diagrammen". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Christin Engel, M.Sc., Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Masterarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017.
- [sKör17] Dennis Körte. "Taktiler Druck von Brailleschrift in SVG-Bildern". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dr.-Ing. Denise Bornschein, Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017.

- [sPL17] Astrid Probst und Constantin Lorz. "Tactile Gaming – Das taktile Labyrinth". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Mensch-Computer Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017 (siehe S. 236).
- [sSch17] Nick Scheider. "Kamerabasierte Tangible-Interaktion auf einem taktilen Flächendisplay". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017 (siehe S. 234).
- [sVB17] Matthias Vetter und Marvin Biedermann. "Tactile Gaming – Spielsammlung (Battleship, Black-Jack, Vier Gewinnt)". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Multimodale Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2017 (siehe S. 236).
- [sKF16] Max Kleinhenz und Han Fu. "Audio-Taktile SVG-Viewer für das BrailleIO Framework". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Mensch-Computer-Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2016 (siehe S. 236).
- [sSch16] Stephanie Schöne. "Vektorbasiertes Zeichnen mit direkter taktiler Rückmeldung". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2016 (siehe S. 185).
- [sDie15] Philipp Dienst. "Visualisierung von Prüfberichten zur Bewertung der Qualität taktiler Grafiken". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2015 (siehe S. 127).
- [sEic15] Laura Eichler. "Generalisierung eines 3D-Kartenmodells zur Unterstützung der Mobilität blinder Menschen". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Prof. Dr. Dirk Burghardt, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät der Umweltwissenschaften, Institut der Kartographie, 2015.
- [sRot15] Markus Roth. "Erweiterung eines taktilen Arbeitsplatzes für blinde Nutzer mittels TOF-System". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2015 (siehe S. 197).
- [sDS14] Phillip Dienst und Tobias Streicher. "Prüfwerkzeug für Grafiken in Fachbüchern". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Mensch-Computer-Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2014 (siehe S. 125, 127).
- [sHar14] Gregor Harlan. "SVG-Graphenzeichner für taktile Funktionsgraphen". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Großer Beleg. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2014.
- [sKar14] Alexander Karpinski. "Braille-Text-Rendering mit Stylesheet-Unterstützung für ein taktilen Flächendisplay". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2014 (siehe S. 156).
- [sLiu14] Yuan Liu. "Automatisierte Optimierung von SVG-Grafiken für eine taktile Ausgabe". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Masterarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2014.
- [sPha14] Duc Anh Pham. "Barrierefreier Editor zur Festlegung einer Lesereihenfolge in SVG-Bildern". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein. Bachelorarbeit. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2014.
- [sKuh13] Heinrich Kuhlmann. "GUI und Framework für taktile Stiftplatten". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein, Dr. Ing. Denise Bornschein. Komplexpraktikum Multimodale Interaktion. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2013 (siehe S. 147).
- [sGer12] Mandy Gerlach. "Untersuchung haptischer Interaktion". Hochschullehrer: Prof. Gerhard Weber, Fachbetreuer: Dipl.-Medieninf. Denise Prescher. Großer Beleg. TU Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Mensch-Computer Interaktion, 2012 (siehe S. 19).



# Abbildungsverzeichnis

---

1.1	Beispiele für grafische Notationen etc. . . . .	3
1.2	Häufigste Einsatzbereiche für taktile Grafiken . . . . .	4
1.3	Bekannte Grafiktypen . . . . .	7
2.1	Haptische Wahrnehmung . . . . .	17
2.2	Taktile Verwechslungen . . . . .	18
2.3	Braillezeile und Braille-Notizgerät . . . . .	21
2.4	Vergleich Gestenausführung sehbehinderter Menschen . . . . .	25
2.5	Vergleich Gestenausführung sehende und blinde Menschen . . . . .	26
2.6	Beispiele kollaborativer Systeme . . . . .	32
3.1	Präferierter Zugang zu Grafiken . . . . .	37
3.2	Eigenschaften von Braille nach [DIN07] . . . . .	38
3.3	Beispiele verschiedener Braille-Kürzungen . . . . .	39
3.4	Alternative taktile Schriften . . . . .	40
3.5	Kollage mit Nadelbaum und Asseln im Waldboden . . . . .	42
3.6	Tiefziehverfahren und Master . . . . .	42
3.7	3D-Druck-Modell einer Pflanzenzelle mit herausnehmbaren Zellkörperchen . . . . .	43
3.8	Braille-Druck im Text- und Grafik-Modus . . . . .	44
3.9	Ausdrucke von grafikfähigen Prägedruckern . . . . .	44
3.10	Beispiel taktiler Druck mit verschiedenen Punktgrößen in 75 dpi . . . . .	45
3.11	Schwellpapierausdrucke einer Weltkarte (links) und eines Raumplans (rechts) . . . . .	45
3.12	Verbreitung taktiler Medien . . . . .	46
3.13	Analoge, kamerabasierte, dynamisch-taktile Displays . . . . .	47
3.14	Haptische Eingabegeräte mit Force Feedback . . . . .	48
3.15	Taktile 3D-Displays . . . . .	49
3.16	Taktile Mäuse . . . . .	51
3.17	Taktiler Flächendisplay auf beweglichem Schlitten über Grafiktablet . . . . .	51
3.18	NIST Refreshable Tactile Graphic Display . . . . .	53
3.19	GWP Display . . . . .	53
3.20	KGS Co. DotView 2 (DV-2) . . . . .	54
3.21	BrailleDis 7200 (HyperBraille) . . . . .	54
3.22	BrailleDis 6240 (HyperBrailleS) . . . . .	55
3.23	Hyperflat . . . . .	55

3.24	Canute 360 . . . . .	56
3.25	Graille Tactile Display . . . . .	56
3.26	metec Tactile2D . . . . .	57
3.27	APH/Orbit Research – Graphiti 2 . . . . .	57
3.28	Blitab Tablet . . . . .	58
3.29	Tactonom . . . . .	58
3.30	Blindpad Multiline Prototype 2 . . . . .	59
3.31	Blindpad/EPFL Keep in Touch (KiT) Displays . . . . .	59
3.32	Punziervverfahren und Kopierrädchen zum Prägen taktiler Grafiken . . . . .	61
3.33	Beispielbilder von blinden Personen, die als Kollagen erstellt wurden . . . . .	62
3.34	Beispielbilder von blinden Personen, die in Braille geschrieben wurden . . . . .	63
3.35	Hilfsmittel zum manuellen Prägen von Punkten in Papier . . . . .	63
3.36	Taktile Hilfsmittel für den Geometrie- und Mathematikunterricht . . . . .	64
3.37	Beispiele matrixbasierter taktiler Hilfsmittel . . . . .	64
3.38	Taktile Zeichenfolie – Werkzeuge und Beispiel . . . . .	65
3.39	Stifte mit heißen Spitzen zum Freihandzeichnen von taktilen Strukturen . . . . .	66
3.40	Reversible taktile Grafiktechniken auf Klettverschluss-Basis . . . . .	66
3.41	Verbreitung taktiler Erstellungsmethoden . . . . .	67
3.42	Beispiele von Editoren für taktile Grafiken . . . . .	69
3.43	Zeichnungen von Objekteigenschaften durch blinde Personen . . . . .	70
3.44	Zeichnung einer Tanzszene durch blinde Frau auf Zeichenfolie . . . . .	71
3.45	Zeichnungen von Tischen durch blinde Personen . . . . .	72
3.46	Zeichnungen von Tieren durch blinde Personen . . . . .	73
3.47	Zeichnungen von Autos durch blinde Personen . . . . .	73
3.48	Zeichnungen von Häusern durch blinde Personen . . . . .	74
3.49	Zeichnungen von Segelbooten durch blinde Personen . . . . .	75
3.50	Probleme beim Zeichnen . . . . .	76
3.51	Probleme in taktilen Grafiken . . . . .	77
4.1	Touchpad Systeme mit veränderlichen taktilen Auflagen . . . . .	83
4.2	ROTARDS taktiler SVG-Grafik- und Web-Betrachter . . . . .	85
4.3	PDF-Datei in den vier verschiedenen Ansichten des HyperReaders . . . . .	86
4.4	Verbreitung digitaler Grafikmedien . . . . .	87
4.5	Elektrischer Schaltplan als ASCII-Grafik . . . . .	89
4.6	ASCII-Grafik mit HBGraphicsExchange . . . . .	89
4.7	BPLOT System . . . . .	90
4.8	Mathematik-Systeme . . . . .	91
4.9	RETAKO System . . . . .	93
4.10	Systeme für Geometrie-Zeichnungen auf Touchscreens . . . . .	93
4.11	Force-Feedback Systeme für den Zugang zu Diagrammen . . . . .	94
4.12	Systeme zur Interaktion auf Graphen . . . . .	95
4.13	DiGVis-Systemkomponenten nach [SCS16] . . . . .	96
4.14	Grafiksysteme mit fester taktiler Auflage . . . . .	97
4.15	IC2D System . . . . .	98
4.16	SETUP09 System . . . . .	99

4.17	Linespace System . . . . .	99
4.18	Zeichensysteme mit taktilen Display und Stifteingabe . . . . .	101
4.19	Zeichensysteme mit Krafrückmeldern . . . . .	102
4.20	TDraw System . . . . .	103
4.21	TactiPad . . . . .	104
4.22	Interaktive Tangible-Systeme für sehbehinderte Nutzende . . . . .	105
4.23	Bewertung der 35 Kriterien für Zeichensysteme . . . . .	117
5.1	Verteilung taktiler Medien . . . . .	121
5.2	Qualitätsmanagement im Transkriptionsprozess . . . . .	122
5.3	Online-Prüfdialog für taktile Grafiken . . . . .	126
5.4	Umzusetzende Grafiken und einige Beispiele taktiler Umsetzungen . . . . .	128
5.5	Taktile Grafiken, die bewertet und auf Fehler untersucht werden sollten . . . . .	129
6.1	Kollaborativer Zeichenarbeitsplatz . . . . .	134
6.2	Tangram-Toolbar mit Hilfsmitteln für einen sehenden Grafikautor . . . . .	135
6.3	LibreOffice DRAW GUI-Erweiterungen . . . . .	136
6.4	Taktile Ausgabe und Aufteilung in Bereiche . . . . .	137
6.5	Taktile Detailansicht und Minimap . . . . .	138
6.6	Brailleschrift-Substitution für Textelemente . . . . .	139
6.7	Taktile Markierung des Bearbeitungsfokus für das nicht-visuelle Interface . . . . .	142
6.8	Verfügbare taktile Füllmuster und Linienstile . . . . .	143
6.9	Bearbeitungsmodi im Rotationsmenü . . . . .	143
6.10	Visueller und nicht-visueller Fokus . . . . .	145
6.11	ShowOffAdapter (Debug-Monitor) – virtuelles taktilen Aus- und Eingabegerät . . . . .	146
6.12	BrailleIO Basis-Struktur UML . . . . .	148
6.13	BrailleIO Adapter UML . . . . .	148
6.14	Standard-Tasten des BrailleIO-Frameworks . . . . .	150
6.15	Testenbelegung BrailleDis 7200 . . . . .	150
6.16	BrailleIO Standardgestenset . . . . .	152
6.17	BrailleIO ViewRanges und Screens . . . . .	153
6.18	BrailleIO Box-Modell . . . . .	153
6.19	Rendering-Pipeline des BrailleIO-Frameworks . . . . .	154
6.20	Taktile Interpolationsprobleme . . . . .	156
6.21	BrailleIO Dialogelemente . . . . .	158
6.22	UML-Diagramm der zentralen Elemente der Tangram Software . . . . .	160
6.23	Sequenzdiagramm Abhandlung von Interaktionen durch Erweiterungen . . . . .	161
6.24	Hierarchische Organisation der Observer-Objekte . . . . .	163
6.25	UML-Diagramm der Observer-Komponenten . . . . .	163
6.26	Klassenstrukturen für Hardware- und Funktionserweiterungen . . . . .	165
6.27	Kollaborativer Zeichenarbeitsplatz Evaluationssetup . . . . .	166
6.28	Testgrafik Unterwasser-Stickstoffkreislauf . . . . .	168
6.29	Durchschnittliche Dauer der Evaluationsphasen . . . . .	170
6.30	Bewertung von Aspekten des Tangram Arbeitsplatzes . . . . .	171
6.31	Bewertung der nicht-visuellen Bearbeitungsmodi . . . . .	171

6.32	Bewertung der GUI-Erweiterungen . . . . .	172
6.33	Gegenüberstellung taktile und visuelle Überblicksansicht . . . . .	172
6.34	Pfeilspitzen vor und nach der kollaborativen Überarbeitung . . . . .	175
6.35	Beispiele kollaborativ überarbeiteter Grafiken . . . . .	176
6.36	Eigenbewertung der Grafikversionen . . . . .	177
6.37	Bewertungen der taktilen Grafiken durch externe Gutachter . . . . .	178
6.38	Versionspräferenzen von externen Bewertenden . . . . .	178
7.1	Konstruktion einer Zeichnung . . . . .	182
7.2	GUI-Beispiele Formenpaletten . . . . .	184
7.3	Braille-Text-Menüs zur Erzeugung von Formen . . . . .	185
7.4	Schrittweises Einfügen und Anpassen eines Dreiecks mittels Braille-Text-Menü . . . . .	186
7.5	Bézier-Kurvenerzeugung . . . . .	186
7.6	Mögliches Zeichengestenset . . . . .	188
7.7	Tangram Zeichengestenset . . . . .	189
7.8	Drahtloser Digitalisierungsstift . . . . .	191
7.9	Verschiedene Digitalisierungsstifte und einsetzbare Schreibspitzen . . . . .	192
7.10	Optimierungsoptionen für Freiformen . . . . .	193
7.11	Tangram Arbeitsplatz mit Tiefenkamera . . . . .	196
7.12	Basistiefenmatrix für eine Segmentierung . . . . .	197
7.13	4-Punkt-Kalibrierung und Marker . . . . .	198
7.14	Capturing mittels Tiefenkamera . . . . .	199
7.15	Hilfsrasteroptionen: Lücken und Laufweite . . . . .	200
7.16	Mögliche Gestaltungen von Hilfsrastern . . . . .	201
7.17	Position und Gestalt des Hilfsrasters bei Zooming- und Panning-Operationen . . . . .	201
7.18	Beschriftung eines Zeichenobjektes mit Text . . . . .	202
7.19	Erzeugung eines Textelements . . . . .	202
7.20	Erzeugung eines an ein Zeichenobjekt gebundenes Text-Label . . . . .	202
7.21	Testgrafiken zum Nachzeichnen . . . . .	204
7.22	Testaufbau multimodaler Zeichenarbeitsplatz . . . . .	206
7.23	Benötigte Zeit je Bild und Zeichenmodalität . . . . .	209
7.24	Durchschnittliche Bewertung der Zufriedenheit . . . . .	210
7.25	Durchschnittliche TLX Bewertungen . . . . .	210
7.26	Durchschnittliche Bewertung der SUS Faktoren . . . . .	211
7.27	Präferenzen für Zeichenmodalitäten . . . . .	211
7.28	Anzahl Nutzerinteraktionen nach Zeichenmodalität und Bild . . . . .	212
7.29	Anzahl Nutzerinteraktionen nach Interaktionstyp und Zeichenmodalität . . . . .	213
7.30	Durchschnittliche Bewertung der Bilder nach Modalität und Bild . . . . .	214
7.31	Zusammenhang zwischen Bewertung und Standardabweichung . . . . .	216
8.1	Vergleich Bilder Zeichenarbeitsplatz und Zeichenfolie späterblindeter Mann . . . . .	230
8.2	Vergleich Bilder Zeichenarbeitsplatz und Zeichenfolie geburtsblinde Frau . . . . .	231
8.3	Weitere Einsatzbeispiele für Stylus . . . . .	233
8.4	Kamerabasierte Tangible-Interaktion mit dem Zeichenarbeitsplatz . . . . .	234
8.5	Zeichnung der Flugbahn einer Marssonde mit dem Zeichenarbeitsplatz . . . . .	235

8.6	Taktile Spiele für blinde Menschen . . . . .	236
7	Stuttgarter Stiftplatte . . . . .	278
8	metec DMD 12060 . . . . .	278
9	BrailleDis 9000 . . . . .	279
10	HyperBrailleF . . . . .	279
11	KGS Co. DotView (DV-1) . . . . .	280
12	DOT Pad Prototype . . . . .	280
13	SMP-Blindpad Displays . . . . .	281
14	Dr. Greiner Magnetics Display . . . . .	281
15	Michigan Holy Braille Display . . . . .	282
16	BrailleIO Button-Mapping für ein metec HyperFlat in Querausrichtung . . . . .	283
17	BrailleIO Button-Mapping für ein metec HyperFlat in Portrait-Ausrichtung . . . . .	283
18	BrailleIO Button-Mapping für ein metec Tactile2D . . . . .	284
19	Bewertung Qualitätskriterien taktile Schemata . . . . .	294
20	Bewertung Qualitätskriterien taktile Diagramme . . . . .	295
21	Bewertungen Qualitätskriterien taktiles Schema . . . . .	296
22	Bewertungen Qualitätskriterien taktiles Diagramm . . . . .	297



# Tabellenverzeichnis

---

4.1	Ein- und Ausgabemethoden Grafiksysteme für blinde Menschen . . . . .	106
4.2	Überblick über digitale Grafiksysteme für blinde Menschen . . . . .	114
4.3	Demografische Daten Anforderungsbewertung . . . . .	116
6.1	Demografische Daten sehender Teilnehmender . . . . .	167
6.2	Demografische Daten blinder Teilnehmender . . . . .	167
7.1	Demografische Daten der Studienteilnehmenden . . . . .	207
7.2	Ergebnisgrafiken Evaluation selbständige Erstellung . . . . .	215
7.3	Bewertung des Zeichensystems gegen Anforderungen . . . . .	219
7.3	Bewertung des Zeichensystems gegen Anforderungen . . . . .	220
7.3	Bewertung des Zeichensystems gegen Anforderungen . . . . .	221
1	Button Mappings für Tangram Funktionen . . . . .	288
1	Button Mappings für Tangram Funktionen . . . . .	289
1	Button Mappings für Tangram Funktionen . . . . .	290
1	Button Mappings für Tangram Funktionen . . . . .	291
1	Button Mappings für Tangram Funktionen . . . . .	292
2	Ergebnisgrafiken Evaluation kollaborative Erstellung . . . . .	298





# Glossar

---

## Anforderung

Beschreibt die Bedingung oder Fähigkeit, die durch ein System, eine Systemkomponente, ein Produkt oder eine Dienstleistung erfüllt werden muss, um einer Vereinbarung, Norm, Spezifikation oder anderen formell auferlegten Dokumenten zu genügen [DIN18a, (3.3.2)].

## ASCII

ASCII (American Standard Code for Information Interchange) ist eine 7-Bit Kodierung für (Text-)Zeichen. Sie enthält in den 128 möglichen Zeichen keine Umlaute und nur wenig Sonderzeichen.

## assistive Technologie

Hilfsmittel, um Menschen mit besonderen Bedürfnissen, wie zum Beispiel blinden Menschen, den Zugang zu Produkten bzw. Funktionalitäten zu ermöglichen oder zu verbessern; zum Beispiel Screenreader und Bildschirmlupe oder spezielle Tastaturen und Eingabehilfen.

## Barrierefreiheit

Barrierefrei sind bauliche und sonstige Anlagen, Verkehrsmittel, technische Gebrauchsgegenstände, Systeme der Informationsverarbeitung, akustische und visuelle Informationsquellen und Kommunikationseinrichtungen sowie andere gestaltete Lebensbereiche, wenn sie für Menschen mit Behinderungen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe auffindbar, zugänglich und nutzbar sind. Hierbei ist die Nutzung behinderungsbedingt notwendiger Hilfsmittel zulässig. Quelle: Gesetz zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz – BGG), §4.

## Bounding Box

Eine Bounding Box oder ein *minimal umgebendes Rechteck* beschreibt das kleinste zweidimensionale und achsparallele beziehungsweise rechtwinklige Rechteck, das ein Objekt oder eine Gruppe von Objekten vollständig umschließt.

## Debug

Siehe *Debugging*.

## Debugging

Bezeichnet die Tätigkeit, Fehler in einem (Computer-)Programm (Bugs) zu finden und zu beheben. Debugging kann auch schon zur Kontrolle von frühen Programmständen innerhalb der Entwicklung eingesetzt werden.

**Dialog**

Interaktion zwischen einem Benutzer und einem interaktiven System in Form einer Folge von Handlungen des Benutzers (Eingaben) und Antworten des Systems (Ausgaben), um ein Ziel zu erreichen [DIN08, (3.2)].

**Drag & Drop**

Im Deutschen „Ziehen und Ablegen“ – ist eine Interaktionsform innerhalb von grafischen Benutzungsoberflächen – engl. Graphical User Interface (GUI) zur Steuerung von Anwendungen. Anfangs nur als einfaches Pendant für Kopieren und Einfügen eingesetzt, findet es heute vielfältigen Einsatz auch zum Herstellen von Beziehungen zwischen Elementen. Grundlegend wird hierzu ein Zeigegerät (z. B. eine Maus) genutzt, mit dem ein Objekt angewählt, an seine Zielposition verschoben und dort platziert wird.

**Effektivität**

Die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit denen Benutzer bestimmte Ziele erreichen [DIN18a, (3.1.12)].

**Effizienz**

Das Verhältnis der eingesetzten Ressourcen zu den erreichten Ergebnissen. Typische Ressourcen sind u. a. Zeit, menschlicher Aufwand, Kosten und Materialien [DIN18a, (3.1.13)].

**Gebrauchstauglichkeit**

Ausmaß, in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen [DIN18a, (3.1.1)].

**Graphenstrukturen**

Graphen, die aus Knoten und verbindenden Kanten bestehen. Diese Graphen können sowohl gerichtet, d. h. die Kanten können eine Flussrichtung definieren, als auch ungerichtet sein.

**Groupware**

Groupware ist eine Software, die in den Bereich der *Computer-Supported Cooperative Work* (CSCW) fällt und die eine räumlich oder zeitlich geteilte Arbeitsumgebung für eine Gruppe von Personen bereitstellt, um sie bei der Lösung einer Aufgabe oder dem Erreichen eines Ziels zu unterstützen [EGR91].

**interaktives System**

Die Kombination aus Hardware und/oder Software und/oder Dienstleistungen und/oder Menschen, mit denen Benutzer zur Erreichung bestimmter Ziele interagieren [DIN18a, (3.1.13)] – siehe auch die Beschreibung zu System.

**Latenz**

Auch Verzögerungszeit genannt – beschreibt die Zeit, die zwischen einem initiiierenden und einem darauffolgenden Ereignis vergeht, zum Beispiel bei einer Aktion und der darauffolgenden Reaktion.

**Lernkurve**

Als Lernkurve wird die abstrakte Visualisierung des Verhältnisses zwischen Zeit (x-Achse) und erlerntem Inhalt (y-Achse) verstanden. Je steiler die Lernkurve ist, umso mehr Wissen wird in kurzer Zeit erlernt. Eine flache Lernkurve zeigt, dass Lerninhalte nur sehr langsam aufgenommen werden. Eine steile Lernkurve kann aber auch dafür stehen, dass viel Wissen innerhalb kurzer Zeit erlernt werden muss, um beispielsweise ein interaktives System bedienen zu können.

**Makro**

Als Makro oder Makrobefehl wird eine Abfolge von Einzelbefehlen bezeichnet, die zu einem einzigen Aufruf zusammengefasst werden [EC93].

**Metapher**

Konzepte, die dem Benutzer bereits vertraut sind und die in der Anwendung benutzt werden, um das Verständnis des Benutzers und seine Fähigkeit zu unterstützen, das Verhalten der Applikation vorherzusagen [DIN03, (3.4)].

**Nutzungskontext**

Die Benutzer, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmittel (Hardware, Software und Materialien) sowie physische und soziale Umgebung, in der das Produkt genutzt wird [DIN08, (3.1)].

**Panning**

Das Verschieben eines (Darstellungs-)Ausschnittes, sodass nicht sichtbare Inhalte außerhalb des Ausschnittes sichtbar werden.

**RFID**

RFID steht für *Radio-Frequency Identification* und ermöglicht es, kabellos Informationen über kurze Distanzen zwischen einem Transponder (Tag) und einem Lesegerät zu übertragen – beispielsweise mittels NFC (*Near Field Communication*). Dabei werden nur einfache Informationen, wie eine ID, oder wenige Werte übertragen. Ein Transponder (RFID-Tag) benötigt dabei meist keine eigene Stromversorgung.

**Schwarzschrift**

Schwarzschrift (oder auch Normalschrift) bezeichnet im Gegensatz zur Blindenschrift die Darstellung von visuell zu lesender Schrift – egal ob gedruckt oder auf einem Monitor etc. dargestellt. In der Schwarzschrift können weitere Informationen durch visuelle Attribute, wie Schriftart, -stil, -größe oder -farbe, kodiert werden.

**Screenshot**

Als Screenshot oder Bildschirmfoto wird eine (bildliche) Kopie des aktuellen Zustandes auf dem Bildschirm, einer Anwendung oder Teilen davon bezeichnet. Er kann als statisches Bild weiterverwendet werden.

**statisches Medium**

Medien, bei denen sich die Darstellung für den Benutzer nicht oder am Ende nicht mehr mit der Zeit ändert [DIN03, (3.4)].

**System**

Eine Kombination aus miteinander agierenden Komponenten, um einen oder mehrere festgesetzte Zwecke zu erfüllen. Ein vollständiges System umfasst alle zugehörigen Geräte, Einrichtungen, Materialien, Computerprogramme, Firmware, technische Dokumentation, Dienstleistungen und das erforderliche Bedien- und Support-Personal in dem Umfang, welcher für einen autarken Betrieb in der vorgesehenen Umgebung erforderlich ist [DIN18a, (3.1.13)]. Wird in dieser Arbeit oft mit „*interaktives System*“ gleichgesetzt.

**Tabletop**

Ein großer interaktiver Bildschirm in Form eines Tisches, der oft Multi-Touch-fähig ist.

**Tacton**

Strukturierte, aber zum Teil abstrakte Nachrichten, die komplexe (Interface-)Konzepte, Objekte oder Aktionen nicht-visuell repräsentieren können. Sie stellen zudem im Taktilem das Pendant zu Braille-Text dar, so wie visuelle Icons zu Text oder Earcons (kurze Sound-Samples) zu synthetischer Sprache (TTS). Eine Vielzahl an haptischen Eigenschaften kann zur Darstellung von Tactons genutzt werden, darunter Frequenz, Amplitude, Dauer, Rhythmus und Platzierung von taktilen Impulsen (z. B. Vibration) [BB04]. Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Definition um statische oder dynamische, zwei- oder dreidimensionale taktile Elemente erweitert.

**User Experience**

Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren. User Experience ist eine Folge des Markenbilds, der Darstellung, Funktionalität, Systemleistung, des interaktiven Verhaltens und der Unterstützungsmöglichkeiten eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung. Sie ergibt sich auch aus dem psychischen und physischen Zustand des Benutzers aufgrund seiner Erfahrungen, Einstellungen, Fähigkeiten, Möglichkeiten und seiner Persönlichkeit sowie des Nutzungskontextes [DIN18a, (3.2.3)].

**Zoom**

Das Vergrößern oder Verkleinern einer Darstellung. Dies kann optisch (Veränderung der Projektionsgröße) oder semantisch (Anpassung des Informationsgehalts und der Darstellung) erfolgen.

**Zufriedenstellung**

Beschreibt im Rahmen dieser Arbeit und mit Sichtweise auf die Gebrauchstauglichkeit von Systemen das Ausmaß der Übereinstimmung der physischen, kognitiven und emotionalen Reaktionen des Benutzers, die aus der Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren, mit den Benutzererfordernissen und Benutzererwartungen. Dabei beinhaltet sie das Ausmaß, in dem die aus der tatsächlichen Nutzung resultierende User Experience mit den Benutzererfordernissen und Benutzererwartungen übereinstimmt [DIN18a, (3.1.14)].

# Stichwortverzeichnis

---

## Symbols

Äquivalenz

    Informativ ..... 32  
    Rechnergestützt ..... 32  
Ästhetik ..... 70, 180  
Übertragung ..... *siehe* Transkription  
3D-Druck ..... 12, 43, 46, 65, 99, 121

## A

Alternativbeschreibung . 2, 4, 7, 22, 37, 81, 120  
Anforderung . 8, 12, 15, 23, 31, 34, 78, 107, 108, 113, 115, 118, 152, 198, 218, 269  
Annotation .. 39, 40, 60, 68, 79, 80, 83, 85, 96, 111, 121, 135, 142, 168, 171, 173, 175, 181, 208  
assistive Technologie 31, 108, 109, 115, 117, 118, 269  
audio-taktile Grafik . 23, 41, 60, 68, 79, 80, 83, 96, 111, 121, 134, 135, 157, 170, 175, 226, 236  
Audioausgabe ..... 21, 28, 135, 136, 139

## B

Back-Translation ..... 39, 157, 160  
Barriere ..... 1, 3, 7, 23  
Barrierefreiheit 4, 5, 7, 9, 29, 107, 119, 127, 269  
Barrieren  
    Grafik-Barriere ..... 22, 28  
    Maus-Barriere ..... 23, 28, 30  
    Multimedia-Barriere ..... 22  
    Pixel-Barriere ..... 22, 28, 157  
    Taxel-Barriere ..... 157  
Beschriftung ..... 111, 124, 170, 201  
bimanual ... 19, 20, 27, 51, 64, 84, 110, 115, 116, 118, 143, 193, 217  
BITV ..... 4  
Bounding Box .. 141, 142, 159, 161, 189, 269

Braille 20, 21, 28, 37, 78, 81, 84, 85, 88, 124, 136, 139, 155, 156, 176

Braille

    6-Punkt ..... 37  
    8-Punkt ..... 38  
    Kürzung ..... 39  
Braille-Druck ..... 40, 43, 62, 67, 88, 90  
BrailleIO ..... 147, 159, 187, 236  
Braillezeile 20, 28, 30, 38, 39, 49, 50, 88, 94

## C

Computerbraille ..... 35, 38, 155  
Computermaus ..... 21, 50

## D

deterministische Navigation .. 24, 141, 161, 212  
Dialog 107, 110, 125, 130, 134, 157, 221, 270  
Diskussion ..... *siehe* Kommunikation  
DOM ..... 29, 141, 161, 162, 186, 193  
Domäne 2, 8, 10, 81, 88, 106, 108, 110, 115, 131, 228, 232  
Drag-and-Drop ..... 9, 23, 68

## E

Effektivität .. 2, 20, 22, 51, 79, 81, 122, 127, 134, 181, 187, 203, 210, 217, 222, 234, 270  
Effizienz 2, 11, 20–22, 32, 33, 39, 78, 79, 81, 109–111, 117, 122, 170, 183, 185, 190, 194, 203, 210, 217, 229, 270  
Einsatzbereiche ... 3–8, 10, 22, 31, 79, 118, 179, 180, 229, 233  
Einstellungen ..... *siehe* Konfiguration  
Empfehlung ..... 34, 51, 107, 118, 122, 218  
Eurobraille ..... *siehe* Computerbraille  
Explore-by-Touch 23, 24, 27, 82, 83, 93, 97, 105, 140, 151

**F**

Füllmuster .... 18, 41, 43, 48, 111, 123, 124, 135, 136, 143, 171, 185, 193  
 Fachbücher ..... 7  
 Farbe 16, 85, 89, 97, 102, 110, 111, 137, 155, 232  
 Fehlerkorrektur . 80, 111, 116, 117, 225, 233  
 Fokus 29, 30, 33–36, 109, 141, 142, 144, 146, 170, 175, 186  
 Fokus-Bewusstsein ..... 33, 34  
 Fokusawareness . *siehe* Fokus-Bewusstsein  
 Formenkasten ..... 66, 80, 167, 227  
 Forschungsfragen  
     Forschungsfrage 1 ..... 10, 132  
     Forschungsfrage 2 ... 11, 181, 203, 222  
 Freihandzeichnungen ... 11, 24, 64, 65, 74, 80, 93, 100, 102, 103, 111, 115, 190, 203, 206, 210, 213, 228

**G**

Gebrauchstauglichkeit ..... 115, 210, 270  
 Geometrie ..... 90, 92, 100  
 Geste .. 11, 24, 25, 32, 87, 104, 149, 151, 157  
 Glättung ..... 110, 193, 199  
 Grafiktyp ..... 2, 7, 10, 81, 125  
 grafische Notation ..... 2, 3  
 Graphen ..... 94, 99, 105, 270  
 Groupware ..... 31, 270  
 GUI 9, 20, 21, 23, 27, 28, 69, 84, 91, 94, 95, 102, 104, 112, 115, 117, 135–137, 144–146, 150, 157, 158, 160, 162, 184, 194, 219

**H**

Hilfslinie ..... 103  
 Hilfsraster ..... 35, 64, 94, 95, 110, 200  
 Hook ..... 30, 154  
 HyperBraille ..... 86, 136, 139, 162  
 HyperReader ..... *siehe* HyperBraille  
 Hypothesen  
     Hypothese 1 ..... 10, 125, 127, 132  
     Hypothese 2 ..... 10, 180  
     Hypothese 3 ..... 10, 180  
     Hypothese 4 ..... 11, 185, 203, 222  
     Hypothese 5 ..... 11, 187, 203, 222  
     Hypothese 6 ..... 11, 190, 203, 222  
     Hypothese 7 ..... 11, 195, 203, 223  
     Hypothese 8 ..... 12, 203, 214, 223

**I**

interaktives System ..... *siehe* System  
 Interpolation ..... 79, 155, 172, 173  
 ISO 14915-1 ..... 107, 108

ISO 9241-110 ..... 107, 108

**K**

Kürzungsgrade (Braille) ..... 28  
 Karten ..... 105  
 Kollaboration .. 8–10, 31, 33–36, 79, 90, 91, 109, 112, 133, 144, 146, 165, 168–170, 172, 173, 175, 229  
 Kollage ..... 42, 43, 61, 62, 66, 121  
 Kommandozeile ..... 27, 29  
 Kommunikation ... 1, 5, 31–35, 62, 74, 100, 109, 112, 166, 173, 174, 179, 233  
 Konfiguration . 140, 141, 159, 164, 165, 183, 185, 193, 200, 212  
 Kontext ..... 33, 35  
 Kontext-Bewusstsein ..... 33  
 Kontextawareness ..... *siehe* Kontext-Bewusstsein  
 Kontur ... 18, 20, 70, 77, 123, 135, 171, 175, 188, 199  
 Kooperation ..... 8, 9, 31, 32  
 Kriterien ..... *siehe auch* Anforderung  
 Kriterienkatalog ... 10, 12, 77, 82, 108, 125, 127, 129–132, 166, 167  
 kritische Funktion ..... 110

**L**

Laien 1, 8, 10, 28, 46, 78, 120, 123, 125, 127, 130, 131, 168, 169, 174, 179  
 Latenz ..... 22, 117, 162, 188, 194, 270  
 Lektor . 9, 10, 36, 79, 133–135, 139–141, 144, 168, 169, 179, 180, 183  
 Lernkurve ..... 109, 137, 271  
 Linienstil ..... 135, 143

**M**

Manipulation ..... 9, 10, 30, 96, 107, 111, 140–144, 168, 171, 172, 175, 181, 183, 186, 193, 212, 213, 217, 222, 229, 232  
 Manipulation  
     direkte ..... 9, 23, 24, 36, 94, 100, 184  
 Master-Datei ..... 112  
 Mathematik ..... 32, 91  
 Medien  
     statisch ..... 271  
 mentales Model . 6, 31, 32, 50, 76, 88, 103, 195  
 Metapher ..... 115, 271  
 Midas-Touch Effekt ... 24, 27, 36, 140, 149, 187, 190, 193, 232  
 Multimedialer Zugang ..... 33, 35, 112

**N**

Nutzergruppe ..... *siehe* Zielgruppe  
 nutzerzentrierte Entwicklung ... 8, 15, 232  
 Nutzungskontext ..... 271

**O**

OCR ..... 120  
 Off-Screen-Model ..... 30, 86, 162

**P**

Panning 18, 87, 111, 138, 145, 149, 153, 174,  
 200, 217, 271  
 Peer-Review ..... 8, 10, 179, 226  
 Prägedruck ... 43, 44, 67, 90, 128, 134, 139,  
 169, 176, 177, 179, 208  
 Primitive 6, 11, 110, 111, 182, 184, 186, 203,  
 227, 233

**Q**

Qualitätsprobleme ..... 2, 5, 8, 10, 77, 122

**R**

Raster ..... *siehe* Hilfsraster  
 Rasterung ..... 41, 49, 78, 79, 113, 117  
 Referenzraster ..... *siehe* Hilfsraster  
 Routing ..... 21, 30

**S**

Schrittgröße ..... 110  
 Schwarzschrift 38, 44, 68, 79, 88, 100, 136,  
 139, 146, 271  
 Schwellpapier ..... 45, 65, 67, 88, 104  
 Screenreader .... 20, 27, 28, 30, 31, 38, 68,  
 84–86, 88, 91, 92, 94, 95, 134, 146, 159, 236,  
 269  
 Sehsinn ..... *siehe* visuelle Wahrnehmung  
 Sonifikation ..... 91, 95, 97, 105  
 Sprachausgabe .. 21, 23, 28, 36, 40, 82–84,  
 87, 95, 96, 106, 136, 139, 141, 144, 159, 185,  
 227, 272  
 Sprechgeschwindigkeit ..... 21, 28, 141  
 Standardform 64, 90, 99, 101, 110, 111, 184,  
 185, 195, 203, 209  
 SVG ..... 68, 83, 85, 88, 135  
 Synchronisierung .. 32–34, 36, 79, 95, 133,  
 146, 149  
 System ..... 270, 272  
 Szenenbaum ..... *siehe* Szenengraph  
 Szenengraph ..... 85, 141, 212

**T**

Tacton ..... 96, 113, 185, 272

taktile Grafik .. 3–5, 7, 8, 10–12, 16, 18, 19,  
 44, 60, 61, 70, 76, 78, 80, 85, 92, 120, 121,  
 123–125, 127, 129, 133, 160, 166, 168, 174,  
 182, 203, 222, 223  
 taktiler Zugang ..... 112  
 taktiler Medium ..... 4, 41, 123, 127, 130  
 taktiler Medium  
     dynamisch ..... 8, 41, 46  
     statisch ..... 41, 42, 46, 79, 83, 96, 131  
 Tangibles ..... 105, 234  
 Tastatur ..... 21, 89, 135, 140, 149, 166, 201  
 Tastatursteuerung .. 23, 84, 91, 98, 99, 110,  
 144  
 Textelement ..... 111, 139, 157, 200, 201  
 Thesen ..... *siehe* Hypothesen  
 Tiefziehen ..... 42, 61  
 Trajektorie ..... 25  
 Transkription .... 5, 7, 8, 10, 12, 68, 69, 78,  
 119, 120, 122, 123, 125, 127, 128, 130, 169,  
 170, 179  
 TTS ..... *siehe* Sprachausgabe

**U**

UN-BRK ..... 3  
 User Experience ..... 103, 115, 272  
 UX ..... *siehe* User Experience

**V**

Verschieben ..... *siehe* Panning  
 Vibration ..... 91, 93, 95, 97

**W**

Wahrnehmung ... 8, 9, 15, 17, 36, 108, 109,  
 113, 146  
 Wahrnehmung  
     haptische ... 17, 21, 23, 47, 82, 83, 272  
     Helligkeitswahrnehmung ..... 155  
     kinästhetische .. 17, 23, 47, 48, 82, 83,  
     101  
     taktile ..... 16–18, 36  
     Tastsinn ..... 16, 17, 23, 123  
     visuelle ..... 16, 17  
 WCAG ..... 4

**X**

XML ..... 68, 88, 89, 125, 140, 141, 159, 164

**Z**

Zeichenfolie .... 64, 103, 104, 167, 191, 228  
 Zeichenmodalität .. 183, 210–212, 216, 222,  
 232  
 Zeichenmodalität

- Gesten 140, 151, 187, 206, 213, 222, 232  
Objektsilhouetten .. 206, 214, 223, 233  
Stylus ..... 11, 190, 206, 213, 222, 233  
Text-Menü . 11, 141, 157, 184, 185, 187,  
213, 222, 232  
Zielgruppe .. V, 8–12, 15, 16, 23, 24, 35, 49,  
62, 77, 88, 115, 123, 133, 146, 193, 235
- Zoom 18, 87, 93, 111, 113, 138, 149, 157, 174,  
185, 200, 212, 217, 272  
Zooming ..... *siehe* Zoom  
Zufriedenstellung .. 75, 122, 169, 203, 208,  
209, 221, 272  
Zugänglichkeit ..... *siehe* Barrierefreiheit  
Zugänglichkeitsschnittstellen 29, 159, 160,  
227



## **Appendix A – Weitere Beispiele**

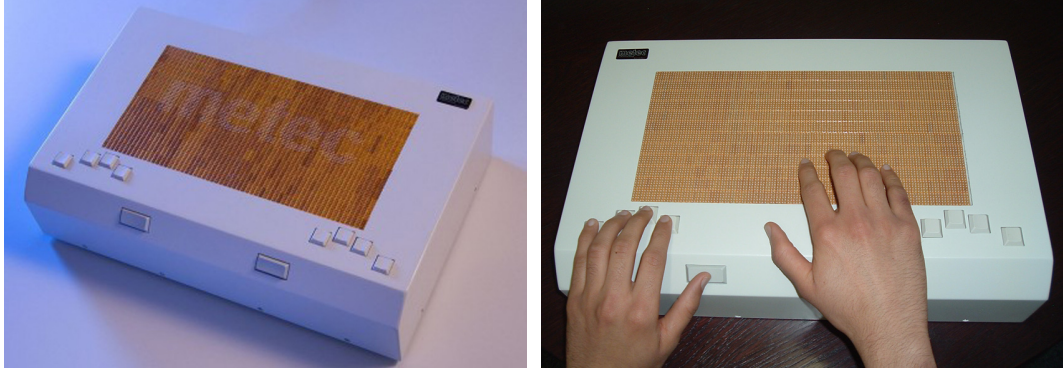
---


## Weitere taktile Flächendisplays

<b>metec – Stuttgarter Stiftplatte</b> [Kur98; SF86; Web89a]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 119 × 59 Pins <b>Aktuatorstechnologie:</b> elektromagnetisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> > 8 dpi <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> Blindenmaus (magnetische Spule) <b>Anwendungen:</b> Mathe und einfache Screenreader, Bildbetrachter, Lernprogramm für Formen, Zugang zu Bildschirmtext-System	<b>Verfügbar:</b> nicht mehr
	
<b>Abbildung 7:</b> Stuttgarter Stiftplatte (Bildquelle [Kur98])	

<b>metec – DMD 12060</b> [Pre16, S. 33 ff.]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 120 × 60 Pins <b>Aktuatorstechnologie:</b> elektromagnetisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 8 dpi <b>Refreshrate:</b> > 0,05 Hz (Gesamtsetzzeit ca. 21 s) <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> Blindenmaus (magnetische Spule) <b>Anwendungen:</b> Mathe, einfache Screenreader	<b>Verfügbar:</b> nicht mehr
	
<b>Abbildung 8:</b> metec DMD 12060 (Bildquelle YouTube <sup>a</sup> )	

<sup>a</sup> <https://youtu.be/z0fktwCPjjc>

<b>metec – BrailleDis 9000</b> [VWB08]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 120 × 60 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> 4 – 5 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 40 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 480 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 600 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> 10 Tasten (Navigation + Braille), kapazitive Multi-Touch-Sensorik <b>Anwendungen:</b> HyperReader Screenreader für Office und Web, Spiele	
	
<b>Abbildung 9:</b> BrailleDis 9000 (Bildquelle metec AG)	

<b>metec – HyperBrailleF Display 6240<sup>a</sup></b> [met18]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 104 × 60 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 35 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 12 Zeilen = 420 Zeichen 6-Punkt: 15 Zeilen = 525 Zeichen <b>Verfügbar:</b> aktuell
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> 14 Standardtasten, 2 Wippschalter, 2 Cursorkreuze (je 5 Tasten), 1 Navigationsleiste (4 Richtungen mit jeweils 2 Druckstufen), 5-Finger-Multi-Touch-Sensorik <b>Anwendungen:</b> Screenreaderanbindung, Mathematiksoftware	
	
<b>Abbildung 10:</b> HyperBrailleF (Bildquelle metec AG)	

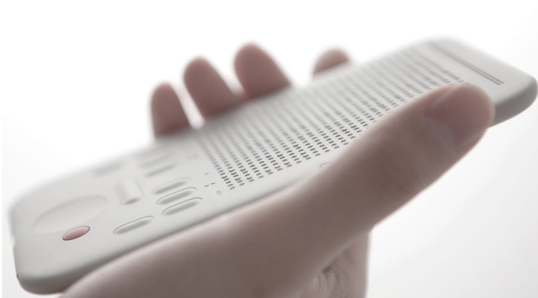
<sup>a</sup> Das HyperBrailleF Display unterscheidet sich vom HyperBrailleS lediglich durch seine geringere Bauhöhe sowie die Einschränkung der Multi-Touch-Sensorik auf fünf Finger.

<b>KGS Co. – DotView (DV-1)</b> [KGS02]	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 32 × 24 Pins <b>Aktuatortechnologie:</b> piezoelektrisch <b>Grafikfähig:</b> ja <b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Auflösung:</b> ca. 8 dpi <b>Refreshrate:</b> > 20 Hz <b>Äquidistant:</b> ja <b>Anz. Zeichen:</b> 11 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 5 Zeilen = 55 Zeichen 6-Punkt: 6 Zeilen = 66 Zeichen <b>Verfügbar:</b> nicht mehr
<b>Mobil einsetzbar:</b> nein <b>Steuerelemente:</b> Vier-Wege-Joystick, 4 Pfeiltasten, 3 Multifunktionstasten <b>Anwendungen:</b> Japanisches Schreiben, Zugang zu Mathe und GUIs, Zeichnen, Spiele	




**Abbildung 11:** KGS Co. DotView (DV-1) (links, Bildquelle KGS Co.), DV-1 mit Zeichenanwendung [KW02] (rechts, Bildquelle <http://www.cs.k.tsukuba-tech.ac.jp>)

<b>Dot Incorporation – Dot Pad<sup>a</sup></b>	
<b>Anzeigefläche (B × H):</b> 32 × 27 Pins (?) <b>Aktuatortechnologie:</b> elektrodynamische Zellen <b>Grafikfähig:</b> semi <b>Braillefähig:</b> 6-Punkt <b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Auflösung:</b> angelehnt an Braille <b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild <b>Äquidistant:</b> nein <b>Anz. Zeichen:</b> 9 Zeilen á 16 Zeichen = 144 Zeichen <b>Verfügbar:</b> in der Entwicklung
<b>Steuerelemente:</b> diverse Steuerelemente (> 10 ?) <b>Anwendungen:</b> k. A. (Text und Grafik)	


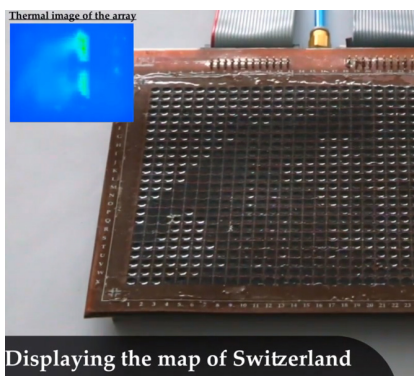


**Abbildung 12:** DOT Pad Prototype (Produkt abweichend) (Bildquelle Dot Incorporation)

<sup>a</sup> Dot Incorporation – Product / Dot Pad – Url: <https://dotincorp.com/product/dot-pad> – zuletzt besucht Okt. 2019

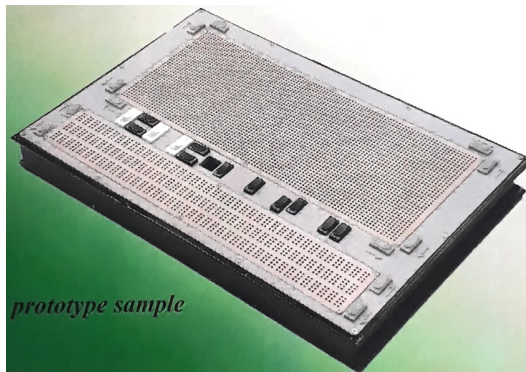
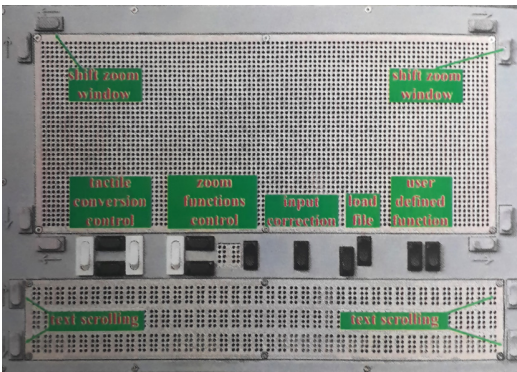


<b>EPFL – SMP-Blindpad</b> [Bes+18]	
<b>Anzeige­fläche (B × H):</b> 32 × 24 Pins	<b>Auflösung:</b> ca. 6 dpi
<b>Aktuator­technologie:</b> Shape Memory Polymer (SMP) Taxel	<b>Refreshrate:</b> mehrere Sekunden pro Bild (ca. 17 s)
<b>Grafikfähig:</b> ja	<b>Äquidistant:</b> ja
<b>Braillefähig:</b> nein	<b>Anz. Zeichen:</b> –
<b>Mobil einsetzbar:</b> ja	<b>Verfügbar:</b> Prototyp
<b>Steuerelemente:</b> k. A.	
<b>Anwendungen:</b> Karten, Formen, Spiele	

**Abbildung 13:** SMP-Blindpad Displays (Bildquelle <https://www.blindpad.eu/>)

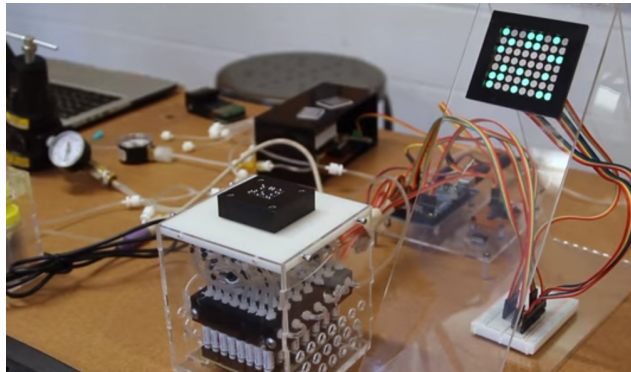
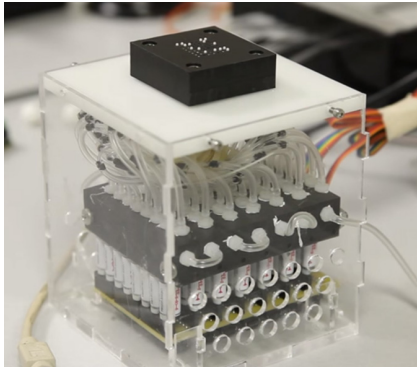
<b>Dr. Greiner Magnetics Display</b> [Gre17]	
<b>Anzeige­fläche (B × H):</b> 96 × 40 Pins (Grafikbereich), 80 × 12 Pins (Textbereich), 4 × 4 Pins (Zoomlevel)	<b>Auflösung:</b> ca. 10 dpi + an Braille angelehnt
<b>Aktuator­technologie:</b> elektromagnetisch	<b>Refreshrate:</b> k. A. (schnell)
<b>Grafikfähig:</b> ja	<b>Äquidistant:</b> ja
<b>Braillefähig:</b> 6- und 8-Punkt	<b>Anz. Zeichen:</b> Grafikbereich: 32 Zeichen pro Zeile 8-Punkt: 8 Zeilen = 256 Zeichen 6-Punkt: 10 Zeilen = 320 Zeichen Textbereich: 3 Zeilen á 40 Zeichen Zoomanzeige: 2 Zeichen
<b>Mobil einsetzbar:</b> k. A.	<b>Verfügbar:</b> Prototyp
<b>Steuerelemente:</b> 4 horizontale + 4 vertikale Scrolling-Buttons für Grafikbereich, 4 vertikale Scrolling-Buttons für Textbereich, 4 Taster für <i>tactile conversion control</i> , 4 Taster für Zooming, 1 Taster für <i>input correction</i> , 2 Taster für <i>File Loading</i> , 2 weitere Schalter;	
<b>Anwendungen:</b> k. A.	

**Abbildung 14:** Dr. Greiner Magnetics Display [Gre17]

### Michigan Braille Display – Holy Braille <sup>a</sup>

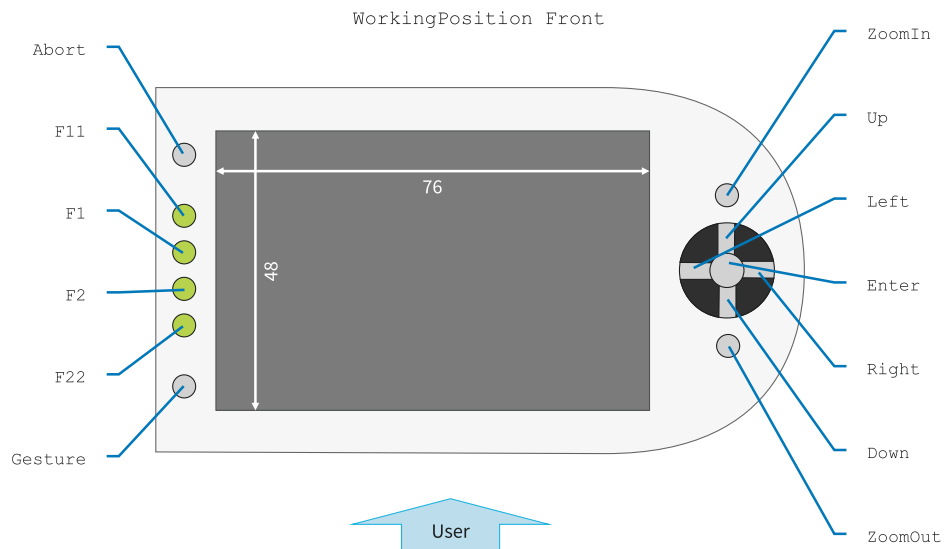
<b>Anzeigefläche (B × H):</b>	8 × 7 Pins	<b>Auflösung:</b>	ca. 10 dpi
<b>Aktuatorstechnologie:</b>	pneumatisch / hydraulisch	<b>Refreshrate:</b>	ca. 1 s pro Bild
<b>Grafikfähig:</b>	ja	<b>Äquidistant:</b>	ja
<b>Braillefähig:</b>	6- und 8-Punkt	<b>Anz. Zeichen:</b>	–
<b>Mobil einsetzbar:</b>	nein	<b>Verfügbar:</b>	Prototyp
<b>Steuerelemente:</b>	k. A.		
<b>Anwendungen:</b>	k. A.		



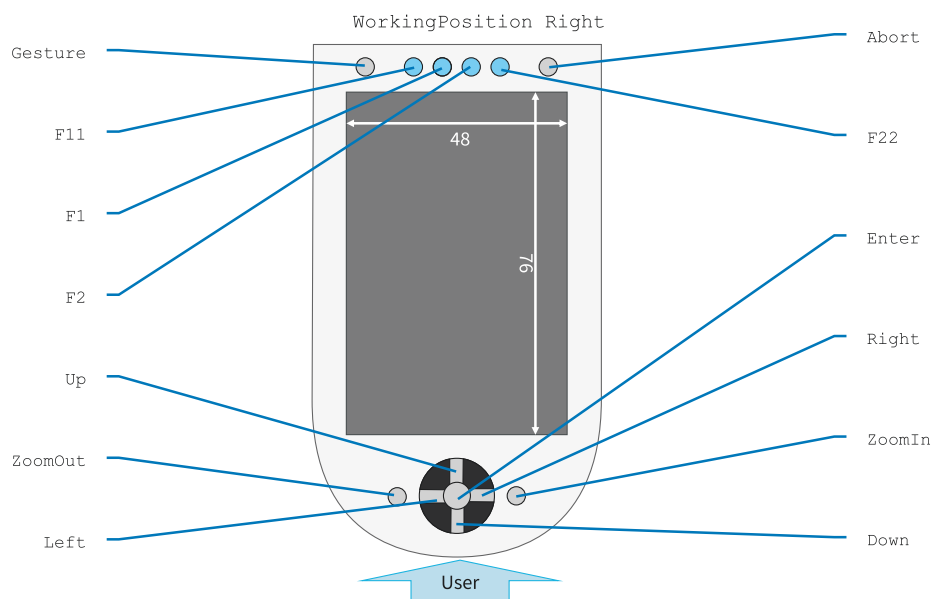
**Abbildung 15:** Michigan Holy Braille Display (Bildquelle *Haptix Lab – Michigan Engineering*)

<sup>a</sup> News and Media – HaptiX Lab – Url: <https://haptixlab.engin.umich.edu/haptix/news-and-media> – zuletzt besucht Okt. 2019

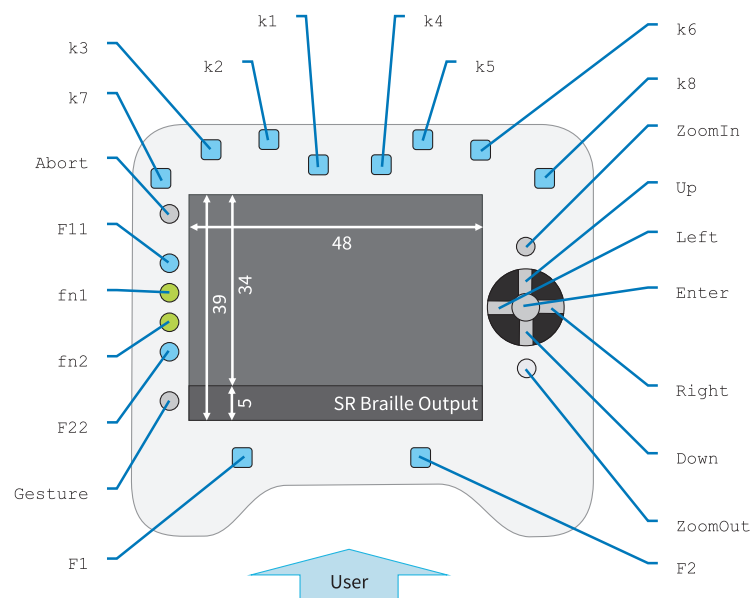
## BrailleIO Zusatz



**Abbildung 16:** BrailleIO Button-Mapping für ein metec HyperFlat in Querausrichtung (Front)



**Abbildung 17:** BrailleIO Button-Mapping für ein metec HyperFlat in Portrait-Ausrichtung (Right)



**Abbildung 18:** BrailleIO Button-Mapping für ein metec Tactile2D



## **Appendix B – Implementierung**

---

## QS-Dialog Zusatz

```

<xs:schema xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" _attributeFormDefault="unqualified" _
  elementFormDefault="qualified" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:import namespace="http://www.w3.org/1999/xlink" _/>
  <xs:element name="testCriteria">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>

        <!-- META_DATA -->
        <xs:element name="metadata">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element name="head">
                <xs:complexType>_
                  <xs:attribute name="profile" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                  <xs:sequence>_
                    <xs:element maxOccurs="unbounded" _name="link">_
                      <xs:complexType>_
                        <xs:attribute name="relation" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                        <xs:attribute name="href" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                      </xs:complexType>_
                    </xs:element>_
                    <xs:element maxOccurs="unbounded" _name="meta">_
                      <xs:complexType>_
                        <xs:attribute name="name" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                        <xs:attribute name="content" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                        <xs:attribute name="scheme" _type="xs:string" _use="optional" _/>_
                      </xs:complexType>_
                    </xs:element>_
                  </xs:sequence>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>

        <!-- CATEGORIES -->
        <xs:element minOccurs="0" _maxOccurs="unbounded" _name="category">
          <xs:complexType>
            <xs:attribute name="name" _type="xs:string" _use="required" _/>
            <xs:attribute name="id" _type="xs:string" _use="required" _/>

            <xs:sequence>
              <xs:element name="desc" _type="xs:string" _/>
              <xs:element name="help" _type="xs:string" _/>

            <!-- CRITERIA -->
            <xs:element minOccurs="0" _maxOccurs="unbounded" _name="criterion">
              <xs:complexType>_
                <xs:attribute name="id" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                <xs:attribute name="name" _type="xs:string" _use="required" _/>_
                <xs:attribute name="mode" _type="xs:string" _use="optional" _/>_
                <xs:attribute name="priority" _type="xs:positiveInteger" _use="required" _/>_
                <xs:attribute name="relation" _type="xs:string" _use="optional" _/>_

                <xs:sequence>_
                  <xs:element name="desc" _type="xs:string" _/>_
                  <xs:element name="help" _type="xs:string" _/>_

                <!-- Recommendation -->
                <xs:element name="recommendation">
                  <xs:complexType>

```



## Tangram Zeichenarbeitsplatz Zusatz

**Tabelle 1:** Mapping von Funktionen des multimodalen Zeichenarbeitsplatzes auf Tastenkommandos für verschiedene Hardwareimplementierungen

Function		Device Keyboard Mapping	
id	Description	ShowOff,HyperBraille(S,F)	MVBDTactile2DFront
<b>General Functions</b>			
recalibrate_	Recalibrates the current active adapter	Abort,k1,k3_ (k) + Abort	k1,k3,k7_ (k) + k7 = (K)
Gesture_	Gesture recognition	Gesture_ left gesture button	Unknown
Manipulation_	Gesture recognition for manipulation	Abort_ right gesture button	Gesture_ most bottom key left
abortSpeechOutput_	Aborts all audio feedback immediately	F1_ most left thumb key	F1_ left thumb-key
getDescription_	Returns the description of an element	k5,k6_	k5,k6_
<b>Panning &amp; Zooming</b>			
pannStepUp_	Moves the viewport a small step to the top	Up_ navigation-bar first step	Up_ right cursor-keypad
pannStepDown_	Moves the viewport a small step to the bottom	Down_ navigation-bar first step	Down_ right cursor-keypad
pannStepLeft_	Moves the viewport a small step to the left	Left_ navigation-bar first step	Left_ right cursor-keypad
pannStepRight_	Moves the viewport a small step to the right	Right_ navigation-bar first step	Right_ right cursor-keypad
pannPageUp_	Moves the viewport a large step to the top	fn8_ navigation-bar second step	Unknown
pannPageDown_	Moves the viewport a large step to the bottom	fn9_ navigation-bar second step	Unknown
pannPageLeft_	Moves the viewport a large step to the left	fn10_ navigation-bar second step	Unknown
pannPageRight_	Moves the viewport a large step to the right	fn11_ navigation-bar second step	Unknown
pannJumpToTop_	Moves the viewport to the very top	fn4_ left cursor-keypad	fn4_ not available
pannJumpToBottom_	Moves the viewport to the very bottom	fn5_ left cursor-keypad	fn5_ not available
pannJumpToLeft_	Moves the viewport to the very left	fn6_ left cursor-keypad	fn6_ not available
pannJumpToRight_	Moves the viewport to the very right	fn7_ left cursor-keypad	fn7_ not available
zoomIncrease_	Increases the presentation - decreases the zooming factor	fn2_ right rocker-switch	ZoomIn_ above right cursor-keypad
zoomDecrease_	Decreases the presentation - increases the zooming factor	fn3_ right rocker-switch	ZoomOut_ underneath right cursor-keypad
zoomIncreaseLarge_	Strongly increases the presentation - decreases the zooming factor	ZoomIn_ left rocker-switch	Unknown
zoomDecreaseLarge_	Strongly decreases the presentation - increases the zooming factor	ZoomOut_ left rocker-switch	Unknown
zoomTo100_	Print-zoom level	k1_	k1_

**Tabelle 1:** Mapping von Funktionen des multimodalen Zeichenarbeitsplatzes auf Tastenkommandos für verschiedene Hardwareimplementierungen

Function		Device Keyboard Mapping	
id	Description	ShowOff,HyperBraille(S,F)	MVBDTactile2DFront
zoomToFit_	Calculates the zoom level to fit the whole content in the available viewport	k3_	k3_
zoomTo1to1_	Sets the zoom level to 1 = 100 % – one pin = one pixel	k7_	k7_
returnZoomLevel_	Requests the current set zoom level	k1,k3,k5,_ k6,k7,k8_	(z) + k7 + k8 k1,k3,k5,_ k6,k7,k8_
<b>Presentation &amp; Thresholds</b>			
invert_	Inverts the presentation of the view	F11_ inner left thumb-key	ZoomIn_, ZoomOut_ both keys above and underneath the right cursor-keypad
decreaseBrightness_ Threshold_	Decreases the threshold of the brightness – pins will rise on darker colours than before	F22_ inner right thumb-key	fn1_ third key from the top on the left
increaseBrightness_ Threshold_	Increases the threshold of the brightness – pins will rise on lighter colours than before	F2_ most right thumb-key	F11_ second key from the top on the left
resetBrightness_ Threshold_	Resets the threshold of the brightness	F2,F22_ both right thumb-keys	F11,fn2_ second and third key from top on the left
toggleBraille_ DisplayOverlay_	Turns on and off the replacement of text to Braille text	k6_ only available at print-zoom level	k6_ only available at print-zoom level
toggleFocusHighlight_	Turns on and off the blinking frame for highlighting the current manipulation focus	k8_	k8_
<b>Region &amp; View control</b>			
toggleMinimap_	Toggles the visibility of the minimap	k2_	k2_
toggleHeaderRegion_	Toggles the visibility of the header region	k1,k3,k8_ (k) + k8	k1,k3,k8_ (k) + k8
toggleDetailRegion_	Toggles the visibility of the detail region	k1,k4,k5,k8_ (d) + k8	k1,k4,k5,k8_ (d) + k8
toggleFullScreen_	Toggles the visibility of the full screen mode	k1,k3,k4,_ k6,k8_	(x) + k8 k1,k3,k4,_ k6,k8_
toggleGrid_	Shows or hides an addition reference grid overlay	k1,k2,k3,k5_ 0	k1,k2,k3,k5_ 0
<b>Drawing Functions</b>			
<b>Focus &amp; Selection</b>			
followGUIFocus_	Toggles the follow GUI focus mode	k1,k2,k4,k7_ (f) + k7 = (F)	k1,k2,k4,k7_ (f) + k7 = (F)
centerFocused_ Element_	Brings the currently focused element to centre	fn1_ centre left cursor-keypad	Unknown

**Tabelle 1:** Mapping von Funktionen des multimodalen Zeichenarbeitsplatzes auf Tastenkommandos für verschiedene Hardwareimplementierungen

Function		Device Keyboard Mapping		
id	Description	<i>ShowOff,HyperBraille(S,F)</i>		<i>MVBDTactile2DFront</i>
<b>highlightDOMFocus_InGui</b>	Marks the currently selected element in the GUI	<b>F1,F11_</b>	both left thumb-keys	<i>Unknown</i>
<b>toggleDOMFocusMode_</b>	Turns on and off if the focused element should be automatically brought to the centre of the display	<b>k1,k2,k4_</b>	(f)	<b>k1,k2,k4_</b> (f)
<b>focusGuiElement_</b>	Sets the focus to the currently selected element of the GUI	<b>k4_</b>		<b>k4_</b>
<b>nextElement_</b>	Sets the focus to the next element	<b>k4,k5_</b>		<b>k4,k5_</b>
<b>previousElement_</b>	Sets the focus to the previous element	<b>k1,k2_</b>		<b>k1,k2_</b>
<b>parentElement_</b>	Sets the focus to the parent element	<b>k1,k2,k3_</b>	previous + k3	<b>k1,k2,k3_</b> previous + k3
<b>childElement_</b>	Sets the focus to the first child element	<b>k4,k5,k6_</b>	next + k6	<b>k4,k5,k6_</b> next + k6
<b>unfocusElement_</b>	Removes the focus from any element	<b>k1,k2,k4,k5_</b>	next + previous	<b>k1,k2,k4,k5_</b> next + previous
<b>editText_</b>	Edits the text value of the shape	<b>k2,k3,k4,k5_</b>		<b>k2,k3,k4,k5_</b> (t)
<b>addLabel_</b>	Adds an external label shape with a connector to the selected shape	<b>k2,k3,k4,_k5,k7_</b>		<b>k2,k3,k4,_k5,k7_</b> (t) + k7 = (T)

**Manipulation**

<b>confirm_</b>	Confirms the selection or changes and switches to the next manipulation mode	<b>Enter_</b>	centre right cursor-keypad	<b>Enter_</b>	centre of right cursor-keypad
<b>changeUp_</b>	Requests for a manipulation change in top direction	<b>fn12_</b>	right cursor-keypad	<b>Up,ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeDown_</b>	Requests for a manipulation change in bottom direction	<b>fn13_</b>	right cursor-keypad	<b>Down,ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeLeft_</b>	Requests for a manipulation change in left direction	<b>fn14_</b>	right cursor-keypad	<b>Left,ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeRight_</b>	Requests for a manipulation change in right direction	<b>fn15_</b>	right cursor-keypad	<b>Right,_ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeUpRight_</b>	Requests for a manipulation change in top right direction	<b>fn12,fn15_</b>	right cursor-keypad	<b>Up,Right,_ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeDownRight_</b>	Requests for a manipulation change in bottom right direction	<b>fn13,fn15_</b>	right cursor-keypad	<b>Down,Right,_ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeUpLeft_</b>	Requests for a manipulation change in top left direction	<b>fn12,fn14_</b>	right cursor-keypad	<b>Up,Left,_ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>changeDownLeft_</b>	Request for a manipulation change in bottom left direction	<b>fn13,fn14_</b>	right cursor-keypad	<b>Down,Left,_ZoomIn_</b>	right cursor-keypad + key above
<b>editTitleDesc_</b>	Opens the title and description edit dialog	<b>k2,k3,k4,_k5,k8_</b>	(t) + k8	<b>k2,k3,k4,_k5,k8_</b>	(t) + k8

**Tabelle 1:** Mapping von Funktionen des multimodalen Zeichenarbeitsplatzes auf Tastenkommandos für verschiedene Hardwareimplementierungen

Function		Device Keyboard Mapping	
id	Description	<i>ShowOff,HyperBraille(S,F)</i>	<i>MVBDTactile2DFront</i>
<b>sendToBackground</b>	Puts an element down in the z-order = sends it more in the background	<b>k3,k6_</b> (-) minus	<b>k3,k6_</b> (-) minus
<b>sendToForeground</b>	Pulls an element up in the z-order = brings it more in the foreground	<b>k2,k3,k5_</b> (+) plus	<b>k2,k3,k5_</b> (+) plus
<b>deleteElement</b>	Deletes the currently selected element or point	<b>k1,k4,k5_</b> (d)	<b>k1,k4,k5_</b> (d)
<b>toggleGrouping</b>	Toggles the mode for grouping elements	<b>k1,k2,k4,_</b> <b>k5,k7_</b> (g) + k7 = (G)	<b>k1,k2,k4,_</b> <b>k5,k7_</b> (g) + k7 = (G)

Dialog and Drawing			
Controlling			
<b>openDrawingDialog_</b>	Opens the shape drawing and controlling dialog	<b>Enter_</b> no element must be selected in drawing	<b>Enter_</b> no element must be selected in drawing
<b>exitDialog_</b>	Closes the current open dialog	<b>k1,k2,k3,_</b> <b>k4,k5,k6,_</b> <b>k7,k8_</b>	<b>k1,k2,k3,_</b> <b>k4,k5,k6,_</b> <b>k7,k8_</b>
<b>toggleClosedShape_Creation_</b>	Turns on or off if freeforms are drawn as closed or open line-graphs	<b>k1,k4,k7_</b> (c) + k7 = (C)	<b>k1,k4,k7_</b> (c) + k7 = (C)

Open & Close & Selection			
<b>dialog_confirm_</b>	Activates the current selection of the dialog	<b>Enter_</b> centre right cursor-keypad	<b>Enter_</b> centre of right cursor-keypad
<b>dialog_moveUp_</b>	Selects the entry above the current selection	<b>fn12_</b> right cursor-keypad	<b>Up_</b> right cursor-keypad
<b>dialog_moveDown_</b>	Selects the entry underneath the current selection	<b>fn13_</b> right cursor-keypad	<b>Down_</b> right cursor-keypad
<b>dialog_moveLeft_</b>	Goes to the parent dialog	<b>fn14_</b> right cursor-keypad	<b>Left_</b> right cursor-keypad
<b>dialog_moveRight_</b>	Goes to child dialog or shows the help	<b>fn15_</b> right cursor-keypad	<b>Right_</b> right cursor-keypad
<b>dialog_exitCurrent_</b>	Closes the current dialog	<b>fn1_</b> centre left cursor-keypad	<i>Unknown</i>
<b>dialog_jumpToParent_</b>	Opens the top parent dialog	<b>fn6_</b> left cursor-keypad	<i>Unknown</i>
<b>dialog_jumpToChild_</b>	Opens the first child dialog	<b>fn7_</b> left cursor-keypad	<i>Unknown</i>
<b>dialog_jumpToTop_</b>	Selects the first entry of a dialog	<b>fn4_</b> left cursor-keypad	<i>Unknown</i>
<b>dialog_jumpTo_Bottom_</b>	Selects the last entry of a dialog	<b>fn5_</b> left cursor-keypad	<i>Unknown</i>

Panning			
<b>dialog_pannStepUp</b>	Moves the viewport a small step to the top	<b>Up_</b> navigation-bar first step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannStepDown</b>	Moves the viewport a small step to the bottom	<b>Down_</b> navigation-bar first step	<i>Unknown</i>

**Tabelle 1:** Mapping von Funktionen des multimodalen Zeichenarbeitsplatzes auf Tastenkommandos für verschiedene Hardwareimplementierungen

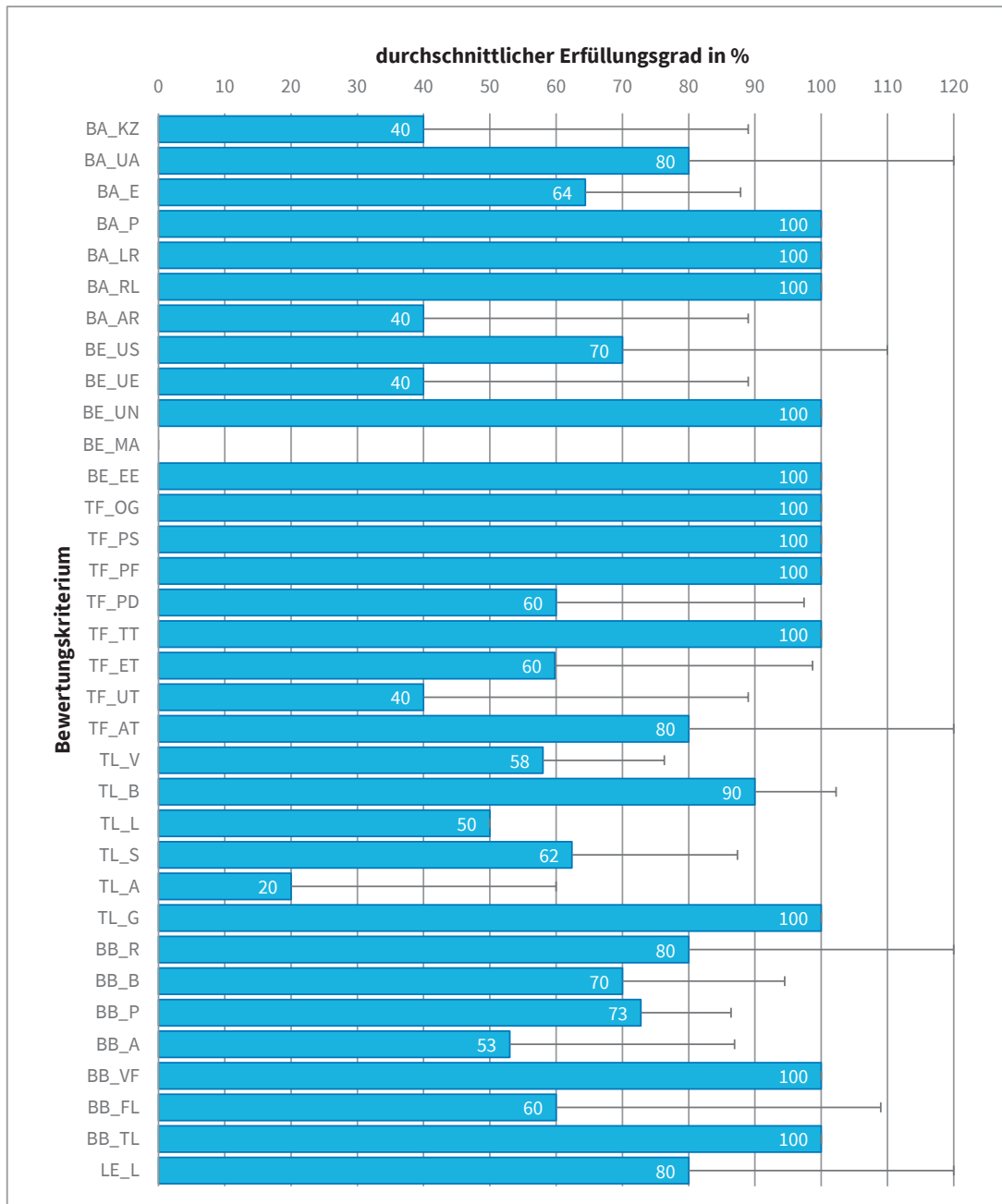
Function		Device Keyboard Mapping		
id	Description	<i>ShowOff,HyperBraille(S,F)</i>		<i>MVBDTactile2DFront</i>
<b>dialog_pannStep_Left_</b>	Moves the viewport a small step to the left	<b>Left_</b>	navigation-bar first step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannStep_Right_</b>	Moves the viewport a small step to the right	<b>Right_</b>	navigation-bar first step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannPageUp_</b>	Moves the viewport a large step to the top	<b>fn8_</b>	navigation-bar second step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannPage_Down_</b>	Moves the viewport a large step to the bottom	<b>fn9_</b>	navigation-bar second step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannPage_Left_</b>	Moves the viewport a large step to the left	<b>fn10_</b>	navigation-bar second step	<i>Unknown</i>
<b>dialog_pannPage_Right_</b>	Moves the viewport a large step to the right	<b>fn11_</b>	navigation-bar second step	<i>Unknown</i>
<b>Freehand Drawing (Stylus)</b>				
<b>Path optimization</b>				
<b>togglePathOptimizer_</b>	Toggles between the available freehand path optimizers (smooth, flattening, etc. )	<b>k1,k3,k7_</b>	(k) + k7 = (K)	<b>k1,k3,k7_</b> (k) + k7 = (K)
<b>increase_Optimization_</b>	Increases the applied optimization level	<b>k4,F2_</b>	right thumb-key + k4	<b>k4,F2_</b>
<b>decrease_Optimization_</b>	Decreases the applied optimization level	<b>k4,F22_</b>	inner right thumb-key + k4	<b>k4,F22_</b>
<b>resetOptimization_</b>	Resets the applied optimization level	<b>k4,F2,F22_</b>	both right thumb keys + k4	<b>k4,F2,F22_</b>
<b>toggleClose_FreeformPath_</b>	Switches between an open freeform and a closed freeform shape	<b>k1,k4,k7_</b>	(c) + k7 = (C)	<b>k1,k4,k7_</b> (c) + k7 = (C)
<b>TOF silhouette capturing</b>				
<b>calibrateTOF_</b>	Calibrates the 3D camera to the drawing area	<b>k1,k3_</b>	(k)	<b>k1,k3_</b> (k)
<b>captureTOF_</b>	Captures objects silhouettes from the drawing surface	<b>Gesture,_Abort_</b>		<b>Gesture,_Abort_</b>



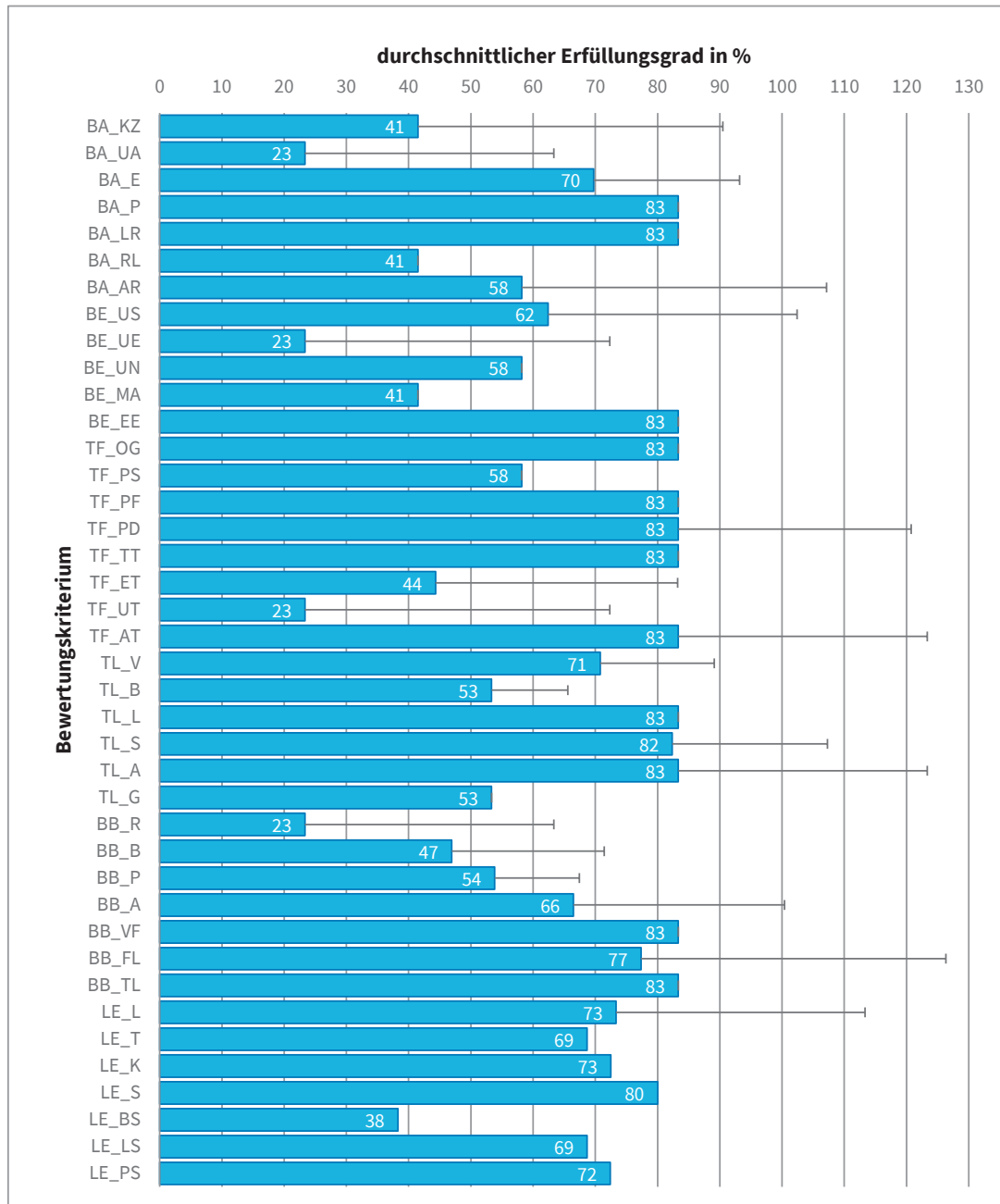
## **Appendix C – Zusätzliche Evaluationsdaten**

---

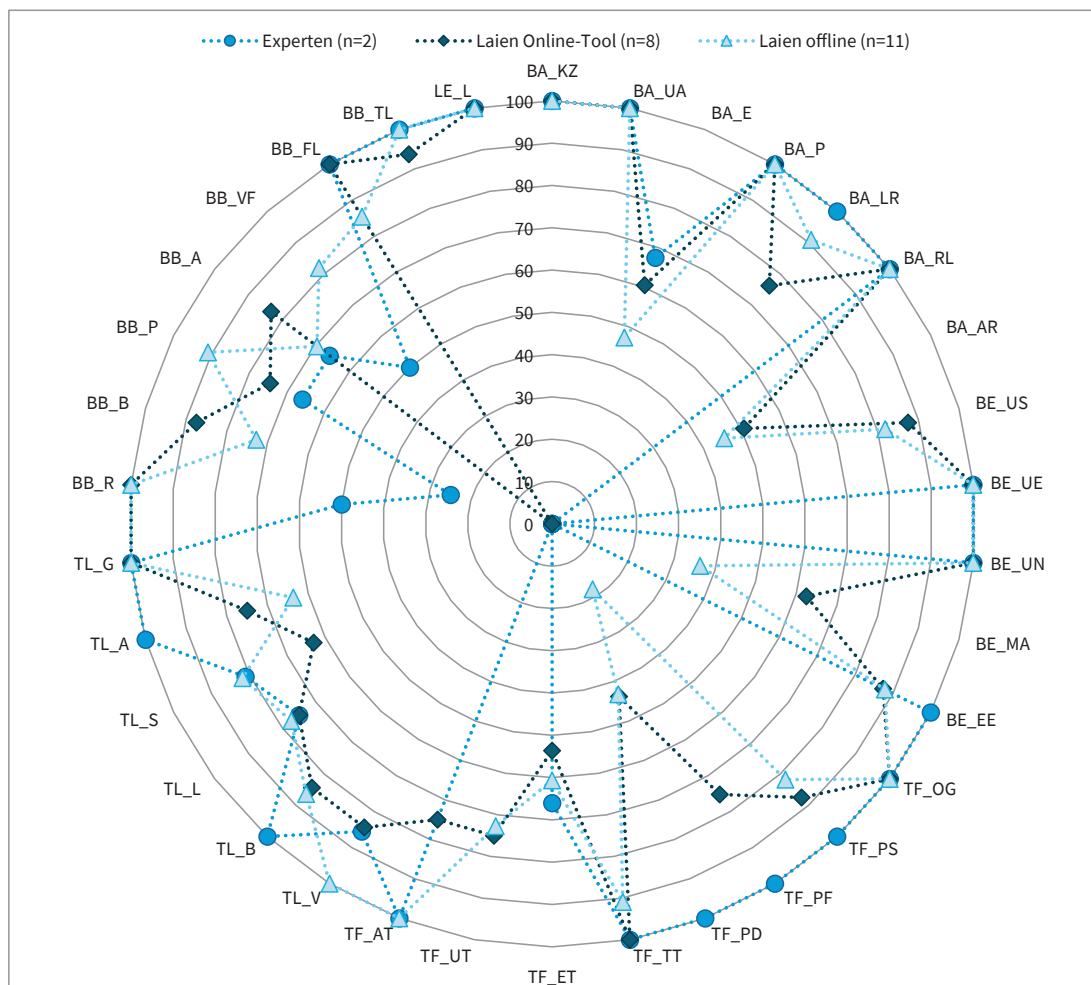
## QS-Tool Zusatz



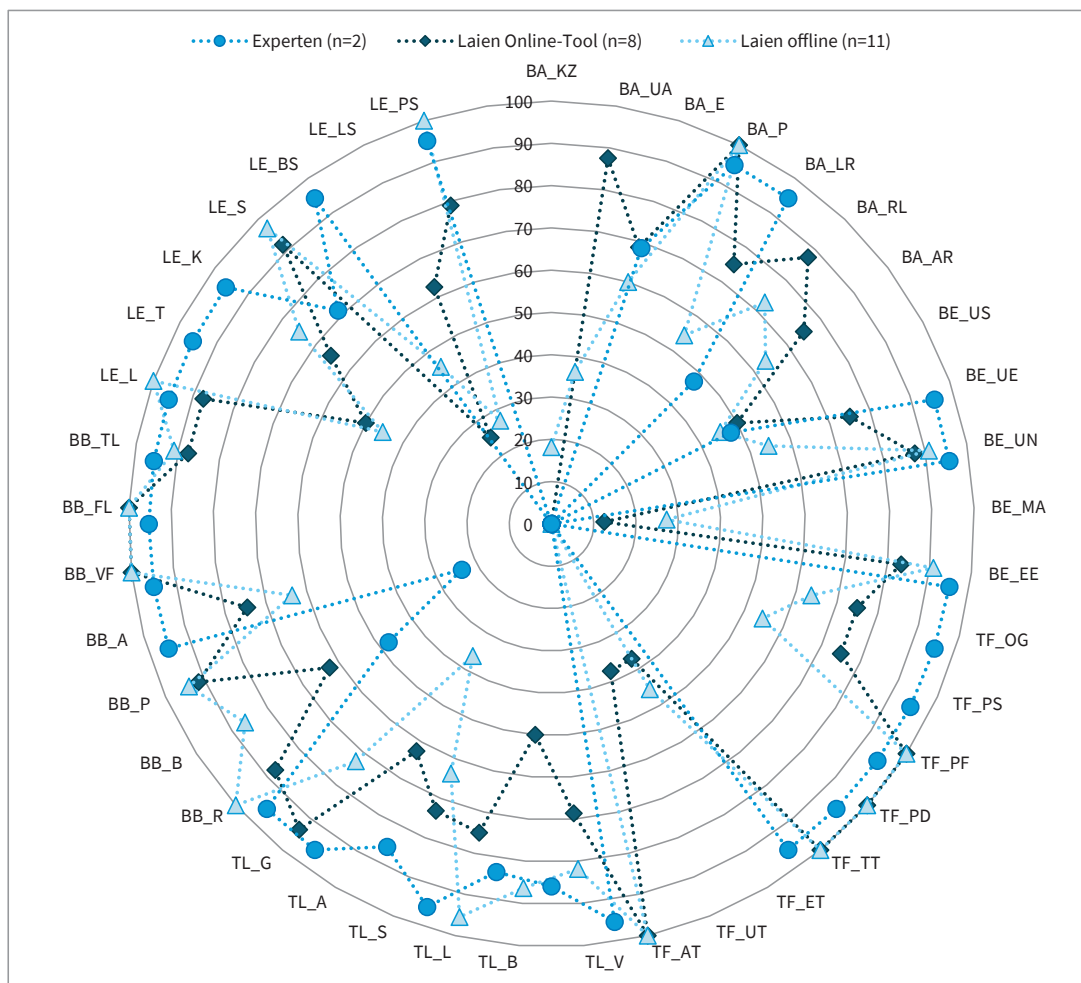
**Abbildung 19:** Durchschnittliche Bewertungen des Erfüllungsgrades der einzelnen Qualitätskriterien nach [\*PB16] mit Standardabweichung für die taktilen Umsetzungen des Unterwasser-Stickstoff-Kreislauf Schemas (n = 5)



**Abbildung 20:** Durchschnittliche Bewertungen des Erfüllungsgrades der einzelnen Qualitätskriterien nach [\*PB16] mit Standardabweichung für die taktilen Umsetzungen des gestapelten Säulendiagramms (n = 5)



**Abbildung 21:** Gegenüberstellung der durchschnittlichen Bewertungen des Erfüllungsgrades der einzelnen Qualitätskriterien nach [\*PB16] für die taktile Umsetzung eines Unterwasser-Stickstoff-Kreislauf Schemas

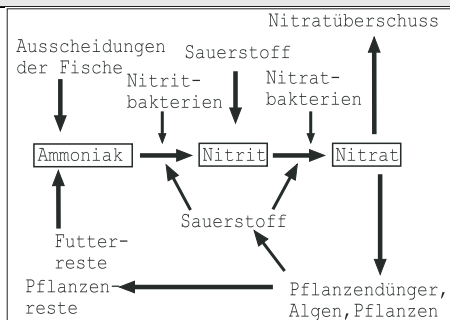


**Abbildung 22:** Gegenüberstellung der durchschnittlichen Bewertungen des Erfüllungsgrades der einzelnen Qualitätskriterien nach [\*PB16] für die taktile Umsetzung eines gestapelten Säulendiagramms

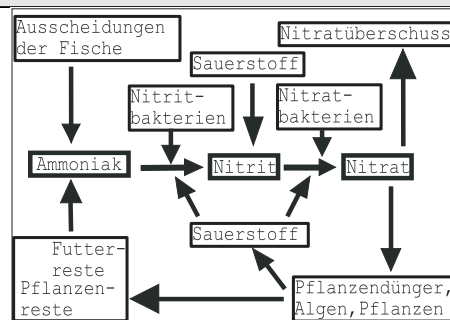
## Kollaborativer Zeichenarbeitsplatz Zusatz

**Tabelle 2:** Ergebnisgrafiken (Darstellung in 20 % der Originalgröße) und deren durchschnittliche Bewertung vor und nach der kollaborativen Überarbeitung mit dem *Tangram* Arbeitsplatz

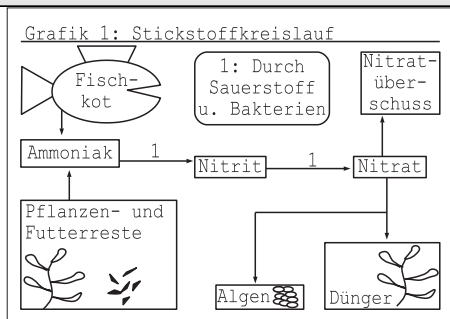
Team 1: trainierte blinde Person (TB) mit sehendem Laien (LS)	
<p>Das Diagramm zeigt den Stickstoffkreislauf im Aquarium. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen) und Futterresten in Nitrit umgewandelt (bakteriell). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (bakteriell). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>	<p>Das Diagramm zeigt den Stickstoffkreislauf im Aquarium. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen) und Futterresten in Nitrit umgewandelt (bakteriell). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (bakteriell). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>
Pre: $\emptyset$ Rating extern: 7,9 (SD=1,4), Rating sehend: 3, Rating blind: 7	Post: $\emptyset$ Rating extern: 8,2 (SD=1,3), Rating sehend: 4, Rating blind: 9
Team 2: trainierte blinde Person (TB) mit sehender Person mit Expertise (ES) (Expertenteam)	
<p>Das Diagramm zeigt den Stickstoffkreislauf im Aquarium. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen) und Futterresten in Nitrit umgewandelt (bakteriell). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (bakteriell). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>	<p>Das Diagramm zeigt den Stickstoffkreislauf im Aquarium. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen) und Futterresten in Nitrit umgewandelt (bakteriell). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (bakteriell). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>
Pre: $\emptyset$ Rating extern: 6,0 (SD=2,4), Rating sehend: 7, Rating blind: 9	Post: $\emptyset$ Rating extern: 6,1 (SD=2,3), Rating sehend: 7, Rating blind: 9
Team 3: untrainierte blinde Person (UB) mit sehender Person mit Expertise (ES) (Expertenteam)	
<p>Das Diagramm zeigt den N-Kreislauf in einem Gewässer. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen und Futterreste) und Pflanzenresten in Nitrit umgewandelt (Nitritbakterien + Sauerstoff). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (Nitratbakterien + Sauerstoff). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>	<p>Das Diagramm zeigt den N-Kreislauf in einem Gewässer. Ammoniak wird von Fischen (Ausscheidungen und Futterreste) und Pflanzenresten in Nitrit umgewandelt (Nitritbakterien + Sauerstoff). Nitrit wird weiter zu Nitrat umgewandelt (Nitratbakterien + Sauerstoff). Nitrat wird als Dünger für Pflanzen und Algen genutzt. Pflanzen und Algen produzieren Sauerstoff, der für die Bakterien benötigt wird. Ein Nitratüberschuss wird ebenfalls dargestellt.</p>
Pre: $\emptyset$ Rating extern: 5,3 (SD=1,6), Rating sehend: 7, Rating blind: 7	Post: $\emptyset$ Rating extern: 5,3 (SD=1,6), Rating sehend: 8, Rating blind: 8

**Team 4: untrainierte blinde Person (UB) mit sehender Person mit Expertise (ES) (Expertenteam)**

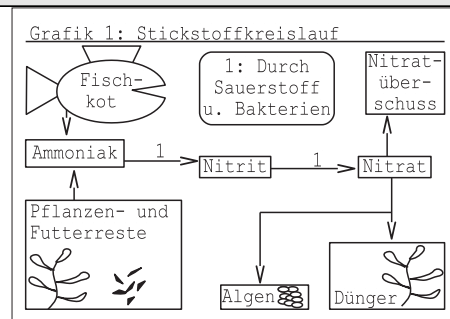
Pre:  $\emptyset$  Rating extern: 6,8 (SD=2,4), Rating sehend: 7, Rating blind: 7



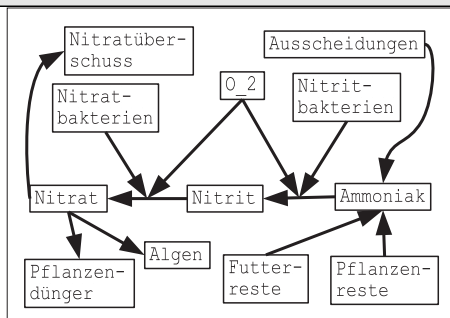
Post:  $\emptyset$  Rating extern: 5,4 (SD=2,1), Rating sehend: 7, Rating blind: 7

**Team 5: trainierte blinde Person (TB) mit sehendem Laien (LS)**

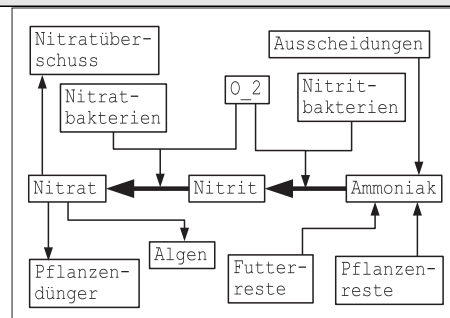
Pre:  $\emptyset$  Rating extern: 5,9 (SD=2,3), Rating sehend: 8, Rating blind: 8



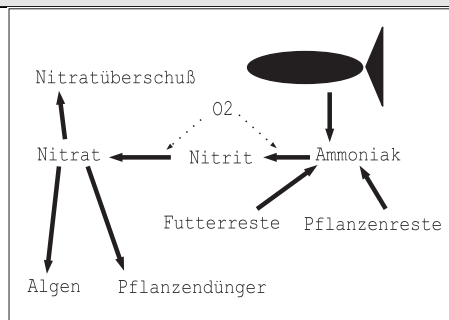
Post:  $\emptyset$  Rating extern: 6,0 (SD=2,1), Rating sehend: 8, Rating blind: 9

**Team 6: untrainierte blinde Person (UB) mit sehender Person mit Expertise (ES) (Expertenteam)**

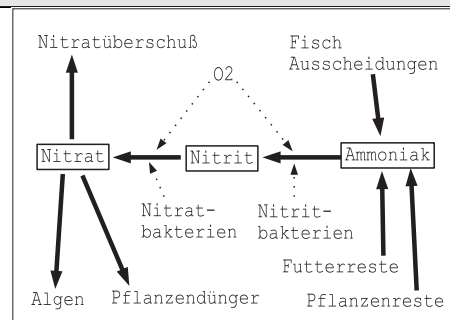
Pre:  $\emptyset$  Rating extern: 7,5 (SD=2,3), Rating sehend: 6, Rating blind: 7



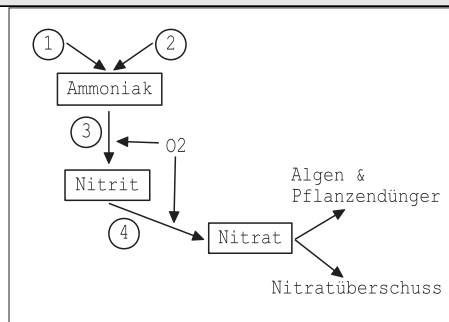
Post:  $\emptyset$  Rating extern: 6,9 (SD=1,9), Rating sehend: 8, Rating blind: 8

**Team 7: untrainierte blinde Person (UB) mit sehendem Laien (LS)**

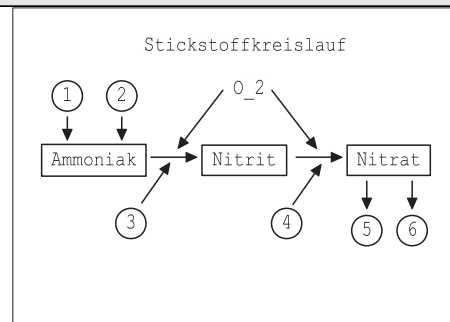
Pre: Ø Rating extern: 6,1 (SD=2,7), Rating sehend: 4, Rating blind: 7



Post: Ø Rating extern: 7,0 (SD=2,4), Rating sehend: 8, Rating blind: 9

**Team 8: trainierte blinde Person (TB) mit sehendem Laien (LS)**

Pre: Ø Rating extern: 7,2 (SD=1,5), Rating sehend: 3, Rating blind: 6



Post: Ø Rating extern: 7,9 (SD=1,7), Rating sehend: 9, Rating blind: 10